

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo in informatiko

Nik Mišković

Analiza storitve FlipIT z vidika časa dostopa

DIPLOMSKO DELO
UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

prof. dr. Miha Mraz
MENTOR

doc. dr. Miha Moškon
SOMENTOR

Ljubljana,

© 2014, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavljanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.¹

¹V dogovorju z mentorjem lahko kandidat diplomsko delo s pripadajočo izvirno kodo izda tudi pod katero izmed alternativnih licenc, ki ponuja določen del pravic vsem: npr. Creative Commons, GNU GPL.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta *za računalništvo
in informatiko*



Tematika naloge:

Kandidat naj v okviru diplomske naloge predstavi oblako storitev FlipIT in izvede njeno analizo z vidika časa dostopa. Izbere naj ustrezne metrike in merjenje dostopnih časov loči glede na tip fizične povezave do uporabnikov. Kandidat naj poda izsledke in na podlagi opravljenih meritev storitev objektivno oceni.

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani izjavljam, da sem avtor dela, da slednje ne vsebuje materiala, ki bi ga kdorkoli predhodno že objavil ali oddal v obravnavo za pridobitev naziva na univerzi ali drugem visokošolskem zavodu, razen v primerih kjer so navedeni viri.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem delo izdelal samostojno pod mentorstvom prof. dr. Mihe Mraza in somentorstvom doc. dr. Mihe Moškona,
- so elektronska oblika dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko in
- soglašam z javno objavo elektronske oblike dela v zbirki "Dela FRI".

— Nik Mišković, Ljubljana, september 2014.

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo in informatiko

Nik Mišković

Analiza storitve FlipIT z vidika časa dostopa

POVZETEK

Računalništvo v oblaku postaja vse hitreje rastoči trg na področju informacijske tehnologije. Izvajanje računalniških storitev se seli na oddaljene lokacije in tako uporabniki vse manj čutijo potrebo po posedovanju zmogljivih lokalnih naprav, saj se dejanska procesorska obdelava opravi v velikih podatkovnih centrih. S tem postajajo uporabniki vedno bolj mobilni, saj lahko do storitev in svojih podatkov dostopajo kadarkoli in kjerkoli se nahajajo.

V diplomskem delu smo z uporabo orodja za merjenje zmogljivosti Performance Monitor analizirali oblačno storitev FlipIT z vidika časa dostopa. Osredotočili smo se na dva tipa fizičnih povezav, ki jih uporabljajo stranke FlipIT pri dostopu do te oblačne storitve, in sicer na bakreno ter optično povezavo. Razložili smo postopek meritev in analizirali dobljene rezultate, ki pokažejo boljše delovanje storitve FlipIT na optičnih omrežjih. Kot pričakovano pa uporabniki, ki dostopajo do oblaka FlipIT preko bakrenega omrežja, niso za nič prikrajšani, saj so prav tako deležni bogate uporabniške izkušnje.

Ključne besede: Računalništvo v oblaku, FlipIT, čas dostopa, prenosni mediji

University of Ljubljana
Faculty of Computer and Information Science

Nik Mišković

Access time analysis of FlipIT service

ABSTRACT

Cloud computing is becoming the fastest growing market in the field of information technology. The implementation of computer services is moving to remote locations. Users don't feel the need of having powerful local devices, because the actual computing is performed in big data centers. The users are becoming more and more mobile as they can access services and their data anytime and everywhere.

In this thesis we analyzed the FlipIT cloud service in terms of access time using the performance measuring tool called Performance Monitor. We focused on two types of physical links used by FlipIT customers when accessing these cloud services, namely copper and optical connection. We explain the procedure of measurements and analyze the results obtained, which show better performance of FlipIT service on optical fiber networks. As expected, users who access the FlipIT cloud over the copper network aren't in any disadvantage, since they are also enjoying the rich user experience.

Key words: Cloud computing, FlipIT, access time, transmission medium

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Mihi Mrazu za vodenje pri izdelavi diplomskega dela, strokovne nasvete ter izjemno hitro odzivnost. Zahvalil bi se tudi somentorju doc. dr. Mihi Moškoni za vse popravke.

Zahvala gre podjetju NIL Podatkovne komunikacije d.o.o., ki mi je omogočilo izvedbo diplomske naloge in sodelavcu Boštjanu Primožiču za pomoč pri izvedbi meritev.

Zahvaljujem se svojim staršem za vso izkazano podporo med samim študijem.

Navsezadnje se zahvaljujem Nani za spodbujanje tekom celotnega študija, predvsem v času pisanja diplomske naloge. Brez tvoje spodbude bi se dokončanje naloge najbrž še malo zavleklo. Hvala za vso pozitivno energijo, ki mi jo daješ.

— Nik Mišković, Ljubljana, september 2014.

KAZALO

Povzetek	i
Abstract	iii
Zahvala	v
1 Uvod	1
2 Opis problema	3
2.1 Računalništvo v oblaku	3
2.1.1 Storitveni modeli	4
2.1.2 Virtualizacija	6
2.2 Opis storitve FlipIT	7
2.3 Tipi uporabnikov	9
2.4 Uporabniška pričakovanja	9
2.5 Težave uporabnikov	11
3 Opis okolja	13
3.1 Fizični mediji	13
3.1.1 Koaksialni kabel	15
3.1.2 Zvita parica	17
3.1.3 Optično vlakno	19
3.2 Tehnologija PCoIP	22
4 Meritve	25
4.1 Latenca	25
4.1.1 Medmrežna latenca	26

4.1.2	Latenca in internetni sklad protokolov	30
4.2	Izvedba meritev	33
4.3	Rezultati meritev	35
4.3.1	Meritve po bakrenem omrežju	35
4.3.2	Meritve po optičnem omrežju	36
4.4	Analiza rezultatov	37
5	Zaključek	41

1 Uvod

Tradicionalna integracija informacijske tehnologije poteka v togem in počasnem procesu, ki običajno zahteva veliko časa in množico strokovnjakov. Nenehno spreminjanje interneta zaradi pojavljanja novih storitev in aplikacij na svetovni ravni povzroča vse hitrejši razvoj informacijskih tehnologij. Dandanes se lokacija določenih računalniških procesov spreminja, saj se vedno več nalog izvrši v oddaljenih podatkovnih centrih preko omrežnega komuniciranja. Računalništvo in komunikacije se med seboj vse bolj prepletata in ustvarjata nove načine uporabe omrežnih računalniških sistemov. Naslednja generacija omrežij in storitvene infrastrukture bi morali premostiti ovire kot so skalabilnost, varnost, prilagodljivost in ozka grla sedanjih omrežnih in storitvenih arhitektur. S tem bi zagotovili nove možnosti za poslovne modele z namenom zagotavljanja uporabe dinamičnih informacijskih virov, ki temeljijo na uporabniških zahtevah preko množice naprav, omrežij, storitvenih področij in poslovnih procesov.

V diplomskem delu sprva opredelimo pojem računalništva v oblaku in si ogledamo osnovne storitvene modele le-tega, na katerih so zgrajeni vsi nadaljni oblaki modeli z namenom zagotavljanja specifičnih storitev končnim uporabnikom. Predstavimo storitev

FlipIT in njene prednosti pred tradicionalnim računalništvom ter razdelimo uporabnike v različne skupine glede na namen uporabe oblaka FlipIT. Govorimo tudi o uporabniških pričakovanjih in omenimo nekaj težav, s katerimi se uporabniki soočajo ob uporabi te storitve v oblaku.

V poglavju 3 opišemo medije, ki se uporabljajo pri prenosu podatkov. Osredotočimo se na medije, ki zagotavljajo fizično pot po kateri prenašamo signale, imenovane fizični mediji. Navedemo prednosti in slabosti vsakega od njih ter si ogledamo njihov namen uporabe. Opišemo tudi lastnosti protokola PCoIP, ki postaja eden najpogostejše uporabljenih protokolov za prikazovanje oddaljenega namizja.

V poglavju 4 opišemo latence, ki nastajajo pri uporabi določenih medijev. Opišemo vzroke za nastanek latence in preverimo, kako visoke so lahko le-te. V nadaljevanju se osredotočimo na meritve, ki smo jih izvedli s programskim orodjem Performance Monitor v dejanskem oblačnem okolju, saj smo merili izbrane parametre neposredno pri strankah FlipIT. Stranke razdelimo na dve skupini glede na tip povezave, s katero dostopajo do oblačnih storitev. Rezultate meritev primerjamo tako med strankami znotraj iste skupine kot tudi med obema skupinama strank. Na kratko analiziramo dobljene rezultate in naredimo primerjavo delovanja oblačnih storitev FlipIT na bakrenih in optičnih omrežjih.

Na koncu v poglavju 5 komentiramo celotno diplomsko delo, pregledamo relevantnost izmerjenih rezultatov in predlagamo možnosti za nadaljnje delo.

2 Opis problema

Trend računalništva v oblaku je dandanes vse bolj prisoten zaradi potreb po gradnji kompleksnih IT (angl. *Information Technology*) infrastruktur, kar uporabnike privede do nameščanja in konfiguriranja različne programske opreme ter njihovih kasnejših posodobitev. Ravno zaradi hitre zastarelosti računalniških virov in druge strojne opreme se je razvila ideja o zunanjem upravljanju IT infrastrukture in rešitvi FlipIT.

V tem poglavju definiramo računalništvo v oblaku in predstavimo storitev FlipIT. Navedemo uporabniška pričakovanja in obrazložimo probleme, s katerimi se soočajo uporabniki pri uporabi te storitve.

2.1 Računalništvo v oblaku

Računalništvo v oblaku (angl. *Cloud Computing*) postaja vse bolj priljubljen računalniški model, ki po potrebi omogoča vseprisoten in priročen dostop do deljenih računalniških virov. To so na primer omrežne naprave, strežniki, pomnilniški prostor, aplikacije in storitve, ki jih je mogoče zagotoviti hitro in po končani uporabi sprostiti z minimalnim posegom ponudnika storitev. Edinstvena vrednost oblaka ustvarja nove priložnosti za

usklajevanje IT in poslovnih ciljev. Računalništvo v oblaku uporablja internetne tehnologije za zagotavljanje informacijsko-tehnoloških zmogljivosti kot storitev (angl. *as a service*) vsakemu uporabniku. Tako lahko dostopamo do kateregakoli podatka iz kateregakoli računalnika brez skrbi v zvezi s shranjevanjem, stroški, upravljanjem in podobno [1].

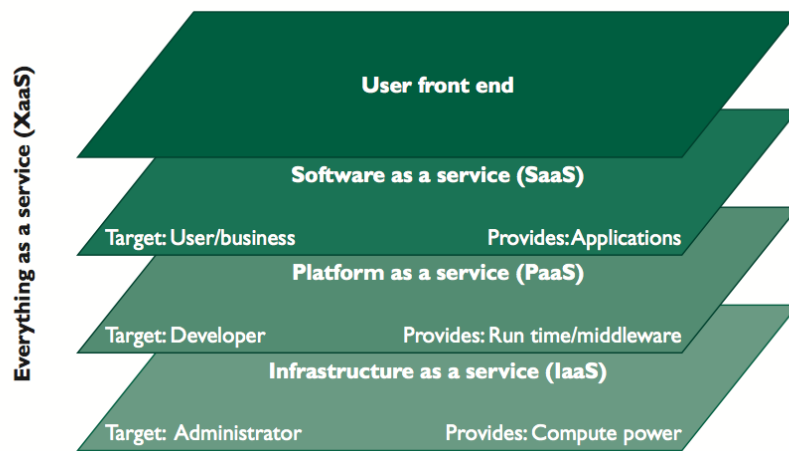
Računalništvo v oblaku se nanaša tako na aplikacije, ponujene kot storitev dostopne preko interneta, kot tudi na programsko in strojno opremo ter sisteme v podatkovnih centrih, ki ponujajo te storitve. Prav programska in strojna oprema v podatkovnih centrih je tisto, kar označujemo kot oblak. Če je oblak ponujen širši javnosti z možnostjo plačila po trenutni porabi virov (angl. *pay-as-you-go*), ga imenujemo javni oblak (angl. *public cloud*). Drug tip oblaka, katerega interni podatkovni centri niso na voljo splošni javnosti, imenujemo zasebni oblak (angl. *private cloud*). Uporabljajo ga organizacije, ki so dovolj velike, da izkoristijo prednosti računalništva v oblaku. V tem primeru so organizacije ponudnik in hkrati uporabnik oblačnih storitev [2].

2.1.1 Storitveni modeli

Poznamo tri osnovne storitvene modele oblačnih storitev, ki si jih lahko predstavljamo kot nekakšne plasti (slika 2.1). Med njimi obstaja nekaj podobnosti, saj vse zagotavljajo IT storitev množici zunanjih uporabnikov preko interneta, vseeno pa ima vsaka od njih izrazite značilnosti, ki si jih bomo ogledali v nadaljevanju.

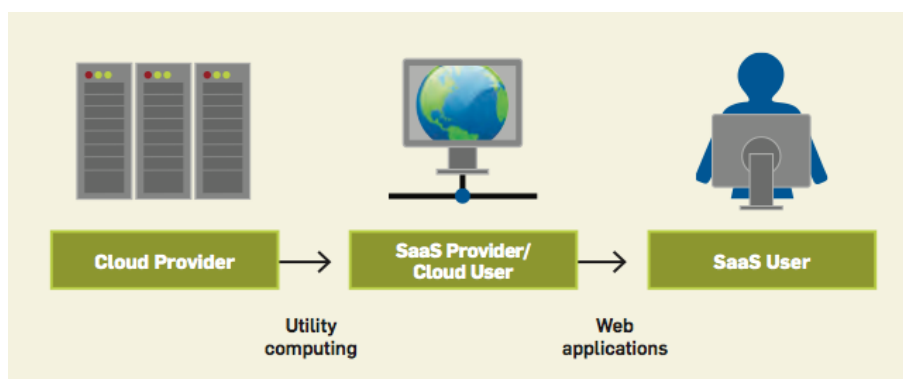
Tipi storitvenih modelov so:

- Infrastruktura kot storitev (angl. *Infrastructure as a Service*, krajše IaaS) je ponudba virov v oblaku kot so procesorska moč, pomnilniški prostor, omrežna oprema in operacijski sistem. Uporabnik ima možnost upravljanja z aplikacijami, podatki in operacijskim sistemom. Je prvi sloj in temelj računalništva v oblaku.
- Platforma kot storitev (angl. *Platform as a Service*, krajše PaaS) zagotavlja izvajalno okolje za razvijanje programske opreme, brez potrebe po nakupu spodaj ležeče infrastrukture. Ponudnik PaaS storitve zagotavlja strojno opremo in operacijski sistem, uporabnik pa lahko sam namesti ali razvije programsko opremo ter sam poskrbi za svoje podatke.
- Programska oprema kot storitev (angl. *Software as a Service*, krajše SaaS) zagotavlja uporabniku uporabo ponudnikove programske opreme, ki teče na oblačni



Slika 2.1 Večplastna arhitektura računalništva v oblaku [3].

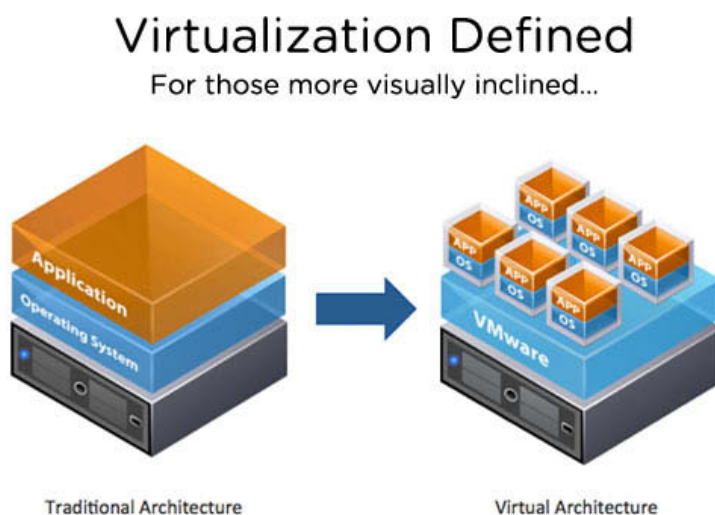
infrastrukturi. Aplikacije so dostopne preko različnih naprav, bodisi tankega odjemalca (angl. *thin client*) ali programskega vmesnika. Koristnik storitve ne upravlja s temeljno oblačno infrastrukturo kot so omrežne naprave, strežniki, operacijski sistem, pomnilniški prostor ali celo individualne nastavitve aplikacij (z izjemo morebitnih uporabniško specifičnih nastavitvev aplikacij). Upravljanje z infrastrukturo je prepuščeno ponudniku storitev, kot to prikazuje slika 2.2 [4].



Slika 2.2 Relacija ponudnik-uporabnik računalništva v oblaku [2].

2.1.2 Virtualizacija

V računalništvu virtualizacija pomeni ustvariti virtualno oz. navidezno različico nečesa, na primer strojne opreme, operacijskega sistema, pomnilniške ali omrežne naprave. Pri računalništvu v oblaku je virtualizacija ključnega pomena, saj nam omogoča poganjanje več virtualiziranih operacijskih sistemov na enem računalniku. V preteklosti smo za poganjanje vsakega izmed operacijskih sistemov potrebovali prav toliko računalnikov. Primerjava tradicionalne arhitekture z virtualno je prikazana na sliki 2.3. Virtualizacija nam omogoča tudi boljšo izrabo razpoložljive strojne opreme za izgradnjo učinkovitejših sistemov.



Slika 2.3 Grafični prikaz virtualiziranega okolja [5].

Pri današnjih zmogljivih 4-, 8- ali celo 16-jedrnih procesorjih velikokrat pride do tega, da so procesorji večino svojega časa premalo izkoriščeni. Virtualizacija rešuje ravno ta problem, saj lahko dodeljuje procesorsko moč večim operacijskim sistemom hkrati glede na njihove potrebe. Tako nam virtualizacija omogoča enako močno procesorsko obdelavo na enem samem zmogljivem večjedrnem procesorju, za katero smo včasih potrebovali več istočasno delujočih računalnikov. Virtualne naprave na enak način dostopajo do ostalih virov, ki so deljeni med vsemi aplikacijami. Vire združimo v večji bazen virov (angl. *Resource Pool*) in so tako na voljo vsem aplikacijam, ki uporabljajo ta skupni bazen

virov. S tem zadostimo potrebam aplikacij po boljših izrabi virov kot sicer [6].

2.2 Opis storitve FlipIT

V podjetju NIL Podatkovne komunikacije, d.o.o. (v nadaljevanju Nil) že od leta 2008 ponujajo storitve v oblaku in so kot prvi v Sloveniji ponudili pisarno v oblaku, imenovano FlipIT. Malim in srednjim podjetjem omogočajo, da namesto nakupa strojne in programske opreme celoten informacijski sistem preprosto najamejo.

FlipIT je storitev tipa ITaaS (angl. *IT as a Service*), katere koncept ni omejen le na računalništvo v oblaku kot že omenjeni storitveni modeli v podpoglavju 2.1.1. Prav tako ITaaS ni nikakršen tehnološki preskok, ki bi na primer pomenil povečanje uporabe virtualizacije, ampak je operativen in organizacijski prehod na vodenje in optimiziranje IT storitev za poslovno uporabo. FlipIT v sebi združuje vso potrebno strojno (delovne postaje, telefon, omrežne naprave ipd.) in programsko opremo ter tudi tehnično podporo. Storitev gostuje v zmogljivem podatkovnem centru, ki omogoča delovanje vseh aplikacij in sistemov ter zagotavlja shranjevalne kapacitete. Tipična delovna postaja, ki jo dobijo uporabniki storitve FlipIT v najem, je prikazana na sliki 2.4.

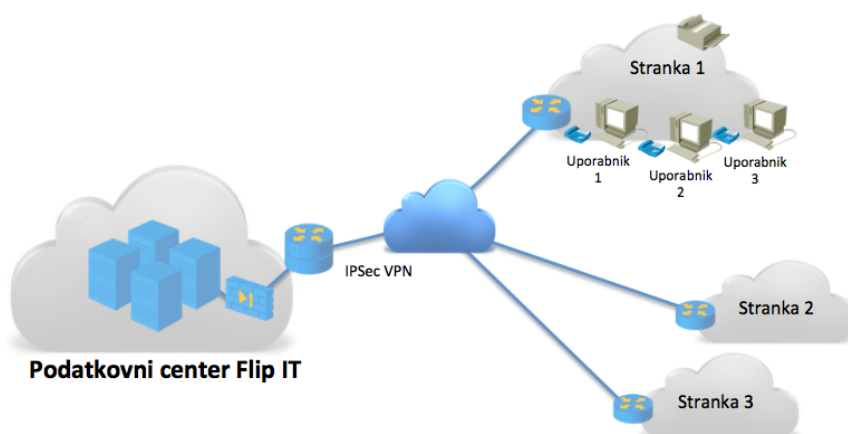


Slika 2.4 Delovna postaja FlipIT [7].

Bistvo tehnologije je, da se računalniški viri ne nahajajo več na uporabnikovem računalniku, temveč so združeni na varnem mestu pri specializiranem ponudniku. Ker niso neposredno vezani na dejansko infrastrukturo, lahko delujejo med seboj popolnoma neodvisno, uporabniki pa tako postanejo neodvisni od strojne opreme, saj do svojih IT

virov dostopajo prek oddaljenih strežnikov. Uporabniki storitve FlipIT dobijo v najem strojno opremo, in sicer tankega odjemalca, monitor, miško, tipkovnico in IP telefon ter omrežni usmerjevalnik, ki zagotavlja kriptirano spletno povezavo direktno do ponudnikovega podatkovnega centra. Preko te varne spletne povezave se uporabniki prijavijo v svoje virtualno okolje, ki je vedno isto.

Ob uspešni avtentikaciji uporabnika se od njegovega usmerjevalnika do požarne pregrade v podatkovnem centru vzpostavi povezava VPN (angl. *Virtual Private Network*) in uporabnik že lahko varno dostopa do svojega virtualnega okolja (slika 2.5). VPN tuneli so kriptirane povezave med dvema točkama oz. privatnima omrežjema, ki za povezovanje izkoriščajo javno omrežje - internet. Tako je zagotovljena tajnost prenesenih podatkov, uporabniki pa se lahko od kjerkoli na svetu povežejo do svojega delovnega okolja.



Slika 2.5 Shema povezovanja različnih uporabnikov s storitvijo FlipIT.

FlipIT za namen nudenja virtualnega okolja uporablja protokol PCoIP (angl. *Personal Computer over Internet Protocol*), ki preko interneta do končnega uporabnika prenese le sliko oddaljenega namizja, katerega programska oprema teče na strežniku v podatkovnem centru. Prikaz slike zaslona poteka tako, da je slika s strani podatkovnega centra stisnjena (kompresirana), šifrirana in prenešena preko protokola PCoIP. Na drugi strani mora sprejemnik sliko dekomprimirati, dešifrirati in prikazati na zaslonu. Uporabnik ne občuti nobene razlike pri delu s programsko opremo, ki je naložena na lokalnem računalniku in tankim klientom, ki le sprejema sliko preko protokola PCoIP, medtem ko programska oprema teče pri ponudniku storitve.

2.3 Tipi uporabnikov

Rešitev FlipIT je namenjena malim in srednje velikim podjetjem, ki želijo optimizirati delovanje celotnega IT sistema in se ob tem posvetiti le svoji poslovni dejavnosti. Tako podjetja, kot tudi zasebni uporabniki si s storitvijo FlipIT zagotovijo zmožljiv, varen in tehnološko napreden IT sistem. Nič več jim ni potrebno skrbeti za vzdrževanje in nadgradnjo strojne in programske opreme ter za varnost svojih podatkov.

Uporabnike storitve lahko razdelimo v tri večje skupine:

1. **Preveč specializirano podjetje, da bi se dodatno ukvarjalo z IT infrastrukturo:** Za to področje nimajo ustreznih zaposlenih sodelavcev, ki bi se ukvarjali z nakupom računalniške opreme, vzdrževanjem in posodabljanjem te opreme, postavitvijo interne mreže in skrbeli za optimalno delovanje komunikacijskih orodij.
2. **Še ne dovolj veliko podjetje, da bi resneje razmišljalo o sodobni informacijski tehnologiji:** V to kategorijo spadajo manjša podjetja, velikokrat s samo enim zaposlenim, ki za svoje delovanje ne potrebujejo veliko računalniških virov, temveč bolj zanesljivo IT infrastrukturo. Tipičen primer so uporabniki računovodskih sistemov.
3. **Podjetje, ki potrebuje fleksibilna in zanesljiva računalniška okolja, ki se postavijo začasno, pri tem pa ni investicij v opremo:** Tu imamo v mislih podjetja, ki potrebujejo hitro in začasno postavitev infrastrukture za izobraževanja, sejme in klicne centre. Zaradi enostavnosti in preglednosti imajo možnost hitrega odpiranja novih delovnih mest oziroma računalniških postaj, če je le-to potrebno.

V vseh primerih je bistvenega pomena ravno to, da se lahko zaposleni posvečajo svojim primarnim zadolžitvam in so razbremenjeni servisiranja in posodabljanja računalniške opreme.

2.4 Uporabniška pričakovanja

Uporabniki od storitve FlipT v glavnem pričakujejo, da bo njihova uporabniška izkušnja ob uporabi IT-tehnologij enaka ali še boljša kot prej. Upravljanje informacijskih komponent namreč prevzame en sam ponudnik in s tem podjetjem omogoča udobno in nemoteno poslovanje.

Glavna pričakovanja uporabnikov lahko strnemo v naslednje točke:

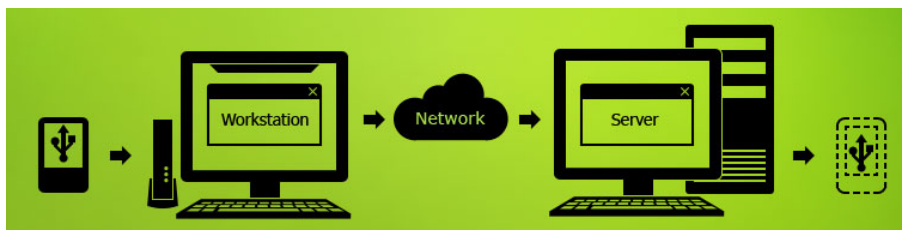
1. **Visoka razpoložljivost in kontinuiteta:** Pri razpoložljivosti oblaka imajo uporabniki velikokrat v mislih pravilo petih devetic oziroma 99,999 % dosegljivost storitve, kar pomeni, da je storitev lahko nedosegljiva maksimalno 5 minut v cellem letu. Visoka razpoložljivost pomeni tudi izločitev ene same točke odpovedi. V ta namen imajo ponudniki oblaka velikokrat urejen dodaten podatkovni center na različni geografski lokaciji in z različnim ponudnikom internetnih storitev kot na primarni točki.
2. **Delovanje specifične programske opreme v oblaku:** Podjetja pri upravljanju svojih storitev uporabljajo vedno večje število specifičnih aplikacij, ki jih je potrebno ob prehodu na oblačno storitev prenesti v virtualno okolje in jih prilagoditi potrebam uporabnikov. Skrb podjetij je, ali bodo te aplikacije delovale enako v oblaku.
3. **Tajnost podatkov in možnost revizije (angl. *auditability*):** Največkrat omenjeno vprašanje glede računalništva v oblaku je ravno tajnost oziroma zaupnost podatkov, ki jih uporabniki odlagajo na pomnilniške kapacitete v podatkovnih centrih ponudnika. Za mnoga podjetja so podatki kritičnega pomena, zato je potrebno z njimi ravnati temu primerno. Uporabniki se soočajo z varnostnimi grožnjami tako znotraj oblaka, kot iz zunanjega sveta. Skrb glede nevarnosti od zunaj je pri uporabi oblaka Daas (angl. *Desktop as a Service*) preprosto odveč, saj se preko interneta prenašajo le kriptirane slikovne pike, podatki pa nikoli ne zapustijo podatkovnega centra. Podobno je odpravljena skrb za grožnje od znotraj, saj ima Nil vse certifikate za varnost in zaupnost shranjevanja podatkov, kot je na primer ISO 27001. Ob tajnosti podatkov podjetja pričakujejo tudi dokumentiranje dostopov do podatkov, saj morajo imeti v primeru korupcije podatkov sledljivost dostopanja do njih.
4. **Varnostno kopiranje podatkov:** Pomembno je zagotavljati redno varnostno kopiranje podatkov. Uporabniki pričakujejo, da bodo imeli v primeru nenamernega izbrisa podatka možnost ta podatek povrniti iz ene izmed varnostnih kopij, ki jih bo izvajal ponudnik storive.
5. **Dostopnost:** Dostop do službenega omrežja je mogoč v vsakem trenutku in iz kateregakoli računalnika, ki ima internetno povezavo. Uporabnikom omogoča delo

od doma, na službeni poti, ali pa urejanje urgentnih stvari izven pisarne.

2.5 Težave uporabnikov

Vsako podjetje oziroma stranka ima, kot že omenjeno, urejeno kriptirano povezavo VPN direktno do ponudnikovega podatkovnega centra, od tam naprej pa so uporabniki istega podjetja povezani v skupno lokalno omrežje LAN (angl. *Local Area Network*). Večina težav, s katerimi se uporabniki soočajo, je povezanih s pasovno širino njihove povezave do podatkovnega centra. Te težave lahko strnemo v naslednje točke:

1. **USB spominski ključek:** Težava kopiranja z in na USB ključek je pri ponudnikih storitev DaaS velikokrat omenjen. Ko uporabnik vtakne ključek v tankega klienta, si seveda predstavlja, da bo lahko lokalno in zato hitro prebral podatke, ki so shranjeni na njem. Pri obravnavi te težave moramo bolj podrobno razumeti delovanje storitve, saj se vtaknjeni ključek ne priklopi (angl. *mount*) lokalno pri uporabniku, temveč v ponudnikovem podatkovnem centru. Pri tem je uporabljena USB preusmeritev (slika 2.6). Podatki morajo pri kopiranju na ključek prepotovati celotno pot - od uporabnika do ponudnika storitve. Hitrost prenosa je omejena z uporabnikovo hitrostjo od njega (angl. *upload*) in je pri večini ne-optičnih povezav mnogo manjša, kot hitrost do uporabnika (angl. *download*). Zato kopiranje podatkov na USB ključek traja dlje, kot bi uporabniki pričakovali. Če imajo podjetja urejene optične povezave, se ta težava pojavlja v manjših razsežnostih, saj za optična omrežja običajno veljajo višje hitrosti prenosa in enaki hitrosti v smeri do in od uporabnika.



Slika 2.6 USB preusmeritev [8].

2. **Optični čitalec:** Težava pri uporabi optičnega čitalca je podobna kot pri USB ključku. Na splošno čitalci niso zasnovani z močno procesorsko močjo, ampak se

zanašajo na procesorsko moč računalnika. Čitalci poskenirane dokumente pošljejo računalniku neobdelane (angl. *raw*), ta pa jih obdela in skrči. V kolikor je dolžina povezave od optičnega čitalca do računalnika kratka in gre preko standarda USB (angl. *Universal Serial Bus*), kot smo navajeni pri uporabi čitalca ob klasičnem osebнем računalniku, je ta prenos hiter in uporabnik ne občuti nikakršne pretirane zakasnitve. Drugačna situacija je, ko mora čitalec preko interneta poslati podatke velikosti nekaj 10 MB. Hitrost prenosa je zopet odvisna predvsem od pasovne širine uporabnikove povezave. Prav tako je običajno obhodni čas od čitalca do računalnika zelo majhen in zato čitalci pričakujejo odgovor v podobno kratkem času. Lahko se zgodi, da čitalec zaradi varnostnih razlogov ob prevelikem obhodnem času podatke tudi zavrne.

3. **Večpredstavnost:** Za prenos zvoka in slike v realnem času ob uporabi konferenčnih klicev in videoklicev velja enako, kot za že omenjene težave z USB spominskimi ključki in optičnimi čitalci. Bistvenega pomena je pasovna širina povezave med podatkovnim centrom in uporabnikom ter s tem povezana latenca in izguba paketov. Višja kot sta slednja parametra, slabša je uporabniška izkušnja.

Poleg pasovne širine se uporabniki soočajo še s težavo razumevanja izdelovanja varnostnih kopij. Vzemimo za primer uporabnika, ki želi povrniti izbrisano elektronsko sporočilo. Varnostne kopije se sprva izdelujejo vsak dan, po enem mesecu se te kopije združijo v več tedenskih kopij, po enem letu v mesečne in tako naprej. Predpostavimo, da obstajajo v nekem trenutku le mesečne varnostne kopije. Uporabnik želi povrniti sporočilo, ki ga je prejel 10. in pomotoma izbrisal 20. v preteklem mesecu. Na voljo ima dve varnostni kopiji - ena je bila narejena 1. v prejšnjem mesecu in druga 1. v tekočem mesecu. Nobena od teh kopij ne vsebuje njegovega izbrisanega sporočila, saj sta bili obe kopiji ustvarjeni ravno ob času, ko ni bilo nobene sledi o njegovem sporočilu. Takrat je povrnitev tega sporočila nemogoča.

3 Opis okolja

Fizična plast v ISO/OSI referenčnem modelu je začetni sloj, ki definira električne in mehanske lastnosti vodnikov in priključkov. Na fizični plasti so definirane prenosne frekvence in napetostni nivoji, načini, kako se podatki zapisujejo v obliko, ki je primerna za prenos po izbranem prenosnem mediju, hitrost prenosa podatkov, maksimalna možna razdalja med napravama oziroma uporabnikoma in podobno. V tem poglavju so opisani fizični mediji, ki se največkrat uporabljajo za prenos podatkov v omrežju. Nekaj pozornosti namenimo tudi protokolu PCoIP, ki predstavlja enega glavnih protokolov za prikaz oddaljenega namizja.

3.1 Fizični mediji

Prenosne medije, ki se uporabljajo za posredovanje informacij, lahko razvrstimo v dve skupini in sicer na vodene (angl. *guided*) in nevodene (angl. *unguided*) medije [9]. Slednji zaposlujejo anteno za prenos signala preko zraka, vakuuma ali vode. Druga skupina prenosnih medijev so vodeni mediji, ki zagotavljajo fizično pot, po kateri se prenašajo signali. Ta skupina vključuje koaksialni kabel, bakreno parico in optično vlakno. V tem

poglavju se bomo osredotočili na vodene oziroma fizične medije.

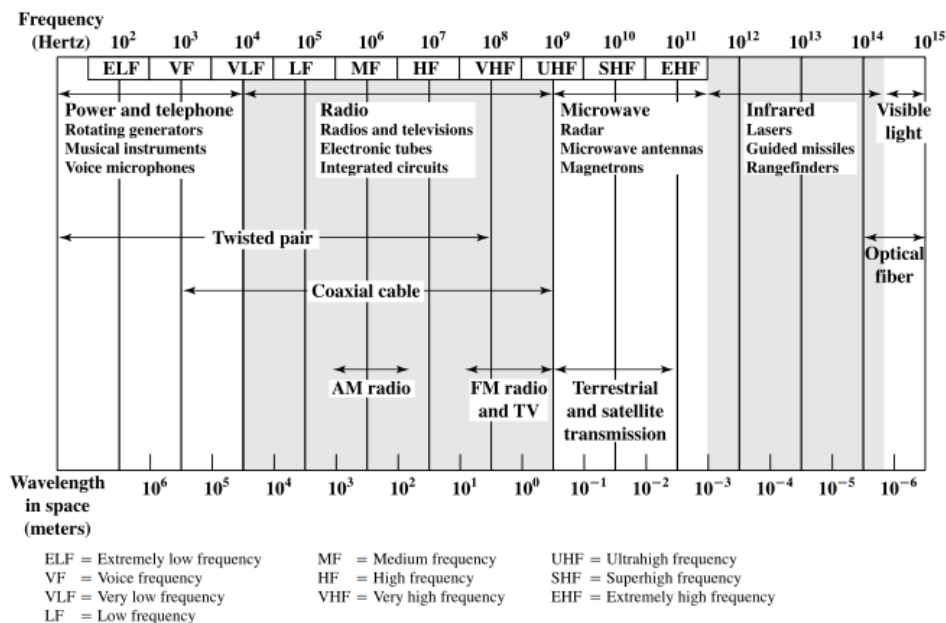
Fizični medij v podatkovnih komunikacijah podpira prenosno pot, po kateri potuje signal. Mnogo prenosnih medijev se uporablja kot komunikacijski kanal med napravami. Eden izmed najpogostejših fizičnih medijev, ki se uporabljajo v omrežju, je bakrena žica, ki omogoča prenos signalov na dolge razdalje, hkrati pa porablja relativno nizko količino energije. Najpogosteje uporabljena bakrena fizična medija sta koaksialni kabel in zvita parica.

Značilnost in kvaliteta prenosa podatkov sta določena z lastnostmi prenosnega medija in značilnostmi signala. V primeru fizičnih medijev je medij veliko bolj pomemben pri določanju omejitev prenosa kot sama značilnost signala.

Glavna skrb pri razmisleku o oblikovanju prenosnih sistemov sta hitrost prenosa podatkov in razdalja, ki jo morajo podatki prepotovati na poti do cilja. Večje hitrosti prenosa in daljše razdalje, ki jih dosegamo, tem bolje. Na omenjena parametra vplivajo sledeči dejavniki:

- **Pasovna širina** (angl. *bandwidth*): Večja kot je pasovna širina, višje hitrosti prenosa podatkov lahko dosegamo.
- **Oslabitve pri prenosu**: Slabljenje signala po prenosnem mediju omejuje njegov domet. Ob enakem dometu je parica bolj občutljiva na slabljenje signala kot koaksialni kabel, ta pa občutljivejši od optičnega kabla.
- **Motnje**: Motnje zaradi konkurenčnih signalov v prekrivajočih frekvenčnih pasovih lahko izkrivijo ali celo izbrišejo signal. Pri fizičnih medijih lahko motnjo povzroči signal, ki uhaša iz bližnjega kabla - na primer zvite parice so pogosto skupaj v istem vodu, kar lahko povzroča interference.
- **Število sprejemnikov**: Fizični mediji se lahko uporabijo za izdelavo povezave od točke do točke (angl. *point-to-point*) ali skupne povezave z več priključki. V slednjem primeru vsak sprejemnik uvaša nekaj slabljenja in motenj na povezavi ter tako omejuje razdaljo in hitrost prenosa.

Slika 3.1 prikazuje elektromagnetni spekter in frekvence, ki se uporabljajo pri posameznem prenosnem mediju. V tem poglavju bomo podrobneje preučili osnovne lastnosti fizičnih medijev in za vsakega od njih povzeli ključne značilnosti pri prenosu.



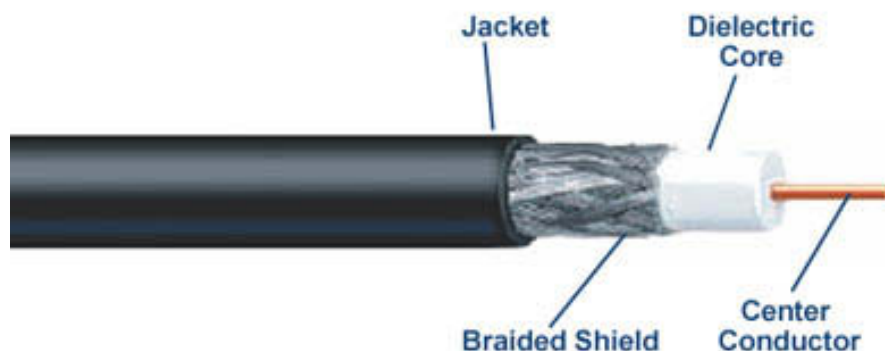
Slika 3.1 Elektromagnetni spekter prenosnih medijev [10].

3.1.1 Koaksialni kabel

Koaksialni kabel je zelo pogost in razširjen komunikacijski medij. Ime je dobil po svoji sestavi, saj vsebuje dva med seboj vzporedna prevodnika. Centralni vodnik je običajno baker, zunaj njega pa je neprevoden material, najpogosteje plastika, ki ločuje notranji prevodnik od zunanega. Zunanji prevodnik je prav tako narejen iz bakra, močno prepletenega med seboj, tako da tvori nekakšno bakreno mrežo. Uporablja se kot ščit proti elektromagnetnim motnjam. Zunaj bakrene mrežice je še končni zaščitni ovitek (slika 3.2). Dejanski podatki potujejo skozi središčni prevodnik v kablu, elektromagnetne mo-tnje pa ujame bakrena mrežica.

Koaksialni kabel je vsestranski prenosni medij, ki je prisoten v različnih storitvah. Nekatere od njih so:

- televizijska distribucija,
- daljše razdalje telefonskih omrežij,
- krajše razdalje povezav računalniških sistemov,
- lokalna omrežja.



Slika 3.2 Zgradba koaksialnega kabla [11].

Koaksialni kabel se pogosto uporablja kot sredstvo za distribucijo TV signalov do posameznih domov, kar poznamo kot storitev kableske televizije. Že od samega začetka je združenje Community Antenna Television (CATV), namenjeno za zagotavljanje televizijskih storitev do oddaljenih območij, doseglo skoraj toliko lokacij (domov in pisarn) kot preko telefonske povezave. Kableska televizija lahko prenaša več sto televizijskih programov na razdaljah več deset kilometrov.

Koaksialni kabel je že tradicionalno pomemben del telefonskega omrežja preko daljših razdalj, saj lahko prenaša preko 10.000 govornih kanalov sočasno, dandanes pa se sooča z naraščajočo konkurenco optičnih vlaken, ki so vedno bolj prisotna.

Poglejmo si še nekaj lastnosti koaksialnega kabla. Njegove prednosti so:

- nizki stroški namestitve,
- enostavna namestitev,
- podpira zmogljivosti hitrosti prenosa do 100 Mbps,
- zmerna oblika imunitete pred elektromagnetnim motnjam in slabljenjem signala.

Pomanjkljivost koaksialnega kabla je v tem, da lahko že vsaka posamezna napaka na kablju pomeni izpad celotnega omrežja.

3.1.2 Zvita parica

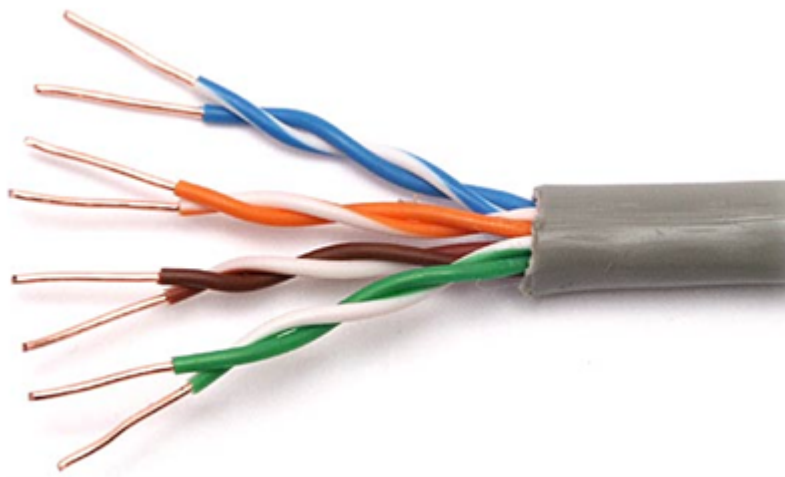
Dve izolirani vzporedni bakreni žici imenujemo parica. Če dve parici zvijemo okoli lastne osi, dobimo zvito parico, s katero zmanjšamo nezaželene motnje zunanjih virov. Zvita parica deluje kot ena sama komunikacijska povezava. Običajno je več takih parov združenih v kablju in zavitih v plastični zaščitni ovoj. Skozi dolge razdalje lahko kabli vsebujejo na stotine parov in večkrat, kot je parica zvita na meter žice, manjša je možnost motenj. Običajno se dolžine zasuka gibljejo od 5 do 15 cm pri daljših razdaljah.

Zvita parica je daleč najpogostejši prenosni medij analognih in digitalnih signalov. Je najpogostejše uporabljen medij v telefonskih omrežjih in gonilna sila za komunikacije znotraj objektov.

Zvita parica je na voljo v dveh različicah, in sicer v obliki zaščitene zvite parice (angl. *Shielded Twisted Pair*, krajše STP) in nezaščitene zvite parice (angl. *Unshielded Twisted Pair*, krajše UTP).

Nezaščitena zvita parica

Nezaščiteno zvito parico lahko enačimo z navadnim telefonskim kablom in je tudi najcenejša od vseh prenosnih medijev, ki se običajno uporabljajo v lokalnih omrežjih.



Slika 3.3 Nezaščitena zvita parica [12].

Zvito parico delimo v več kategorij [13]:

- Kategorija 1: uporablja se za telefonske komunikacije in ni primerna za prenos

podatkov;

- Kategorija 2: lahko prenaša podatke s hitrostjo do 4 megabite na sekundo (Mb/s);
- Kategorija 3: lahko prenaša podatke s hitrostjo do 10 megabitov na sekundo (Mb/s); uporablja se v omrežjih 10BASE-T;
- Kategorija 4: lahko prenaša podatke s hitrostjo do 16 megabitov na sekundo (Mb/s); uporablja se v omrežjih tipa "Token Ring";
- Kategorija 5: lahko prenaša podatke s hitrostjo do 100 megabitov na sekundo (Mb/s);
- Kategorija 5e: lahko prenaša podatke s hitrostjo do 1000 megabitov na sekundo (Mb/s) – 1 gigabit na sekundo (Gb/s);
- Kategorija 6: trenutno najhitrejši standard za zvito parico, omogoča prenose podatkov do 10 gigabitov na sekundo (Gb/s).

Danes so najpogostejše uporabljene kategorije 1 v telefonskih omrežjih in kategorije 5, 5e in 6, ki se uporabljajo v domačih omrežjih. Poglejmo si še nekaj lastnosti nezaščitene zvite parice. Njene prednosti so:

- nizki stroški namestitve,
- enostavna namestitev,
- omogoča prenos podatkov pri visokih hitrostih.

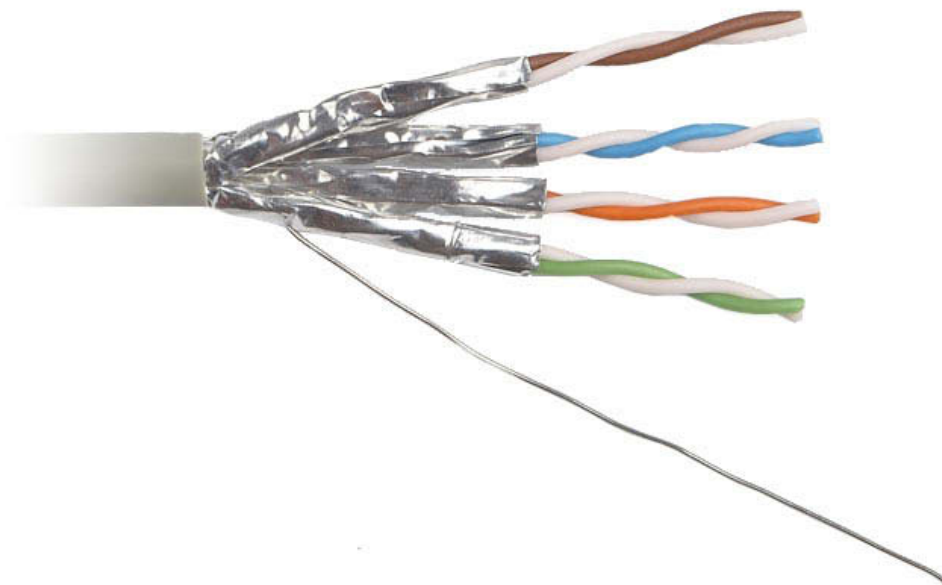
Slabost zvite parice pa je omejitev uporabe na razdaljah do 100 metrov zaradi visokega slabljenja.

Zaščitena zvita parica

Nezaščitena zvita parica je velikokrat tarča zunanjih elektromagnetnih motenj, motenj bližnjih paric in motenj iz okolja. Način za izboljšanje teh lastnosti je zaščita medija s kovinsko prevleko, ki zmanjšuje motnje. Tako parico imenujemo zaščitena zvita parica, ki zagotavlja boljše rezultate pri višjih hitrostih prenosa podatkov.

Poglejmo si nekaj njenih lastnosti. Prednosti so:

- zmerni stroški,



Slika 3.4 Zaščiteni zviti parica [14].

- omogoča višje hitrosti prenosa podatkov kot pri nezaščiteni zviti parici,
- zmerna oblika imunitete pred elektromagnetnimi motnjami in slabljenjem signala.

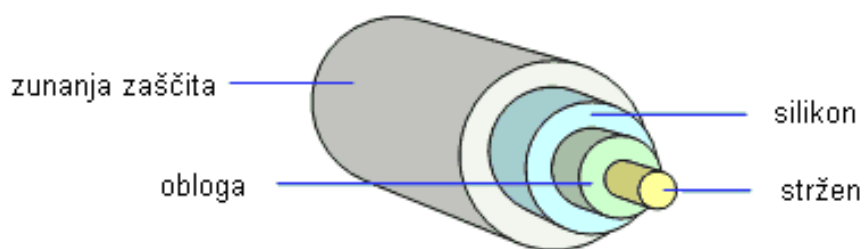
Slabosti so sledeče:

- dražja od nezaščitenih zvite parice in koaksialnega kabla,
- težja namestitvev,
- omejitev dolžine na 100 metrov in
- visoka stopnja slabljenja.

3.1.3 Optično vlakno

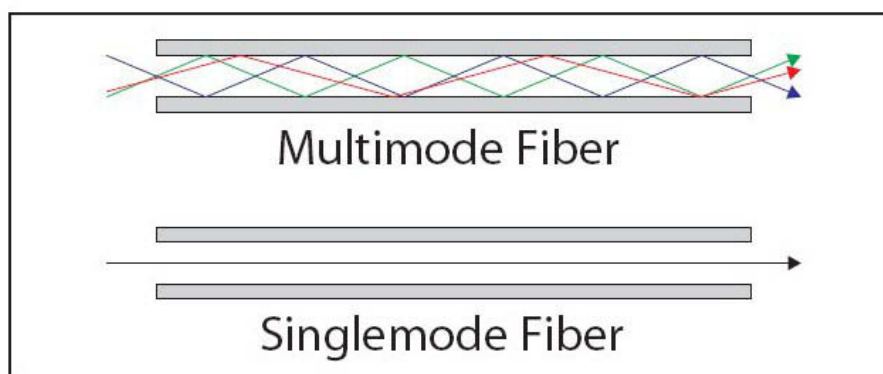
Optično vlakno je tanek ($2\text{--}125\ \mu\text{m}$) prožen medij, sposoben usmerjanja optičnega žarka. Za potrebe izdelave optičnih vlaken lahko uporabimo različna steklena vlakna ali plastične mase, ki usmerjajo svetlobni snop vzdolž njegove dolžine in izkoriščajo pojav popolnega odboja. Optično vlakno postaja najpogostejše uporabljen prenosni medij za komunikacijo na dolge razdalje.

Kabel optičnega vlakna ima cilindrično obliko in je sestavljen iz treh koncentričnih delov, in sicer jedra, prevleke in plašča (slika 3.5). Jedro je osrednji del, ki je sestavljen iz enega ali več tankih niti oziroma vlaken, narejenih iz stekla ali plastike. Premer jedra je od 8 do 100 μm . Vsako vlakno je obdano z lastno prevleko, prav tako stekleno ali plastično, a z drugačnimi optičnimi lastnostmi od tistih v jedru. Vmesnik med jedrom in prevleko deluje kot odsevnik za omejitev snopa svetlobe, ki bi drugače ušel iz jedra. Zunanja plast, ki obdaja eno ali snop vlaken, je plašč. Sestavljen je iz plastike in drugih materialov za zaščito pred vlago, poškodbami in ostalimi okoljskimi vplivi [10].



Slika 3.5 Zgradba optičnega vlakna [15].

Najpogostejši vrsti optičnih vlaken sta večrodovna (angl. *multi-mode*) in enorodovna (angl. *single-mode*). Večrodovna optična vlakna imajo premer jedra 50 ali 62,5 μm in so zmožna prenašati signale na krajših razdaljah do 2 km, enorodovna pa lahko prenašajo signale na razdaljah več sto km in so namenjena prenosu velikih količin podatkov. Vlakni sta prikazani na sliki 3.6.



Slika 3.6 Enorodovna in večrodovna optična vlakna [16].

Poglejmo si še nekaj prednosti optičnih vlaken:

- sposobna so izredno visokih hitrosti,
- izjemno nizka stopnja slabljenja,
- ni elektromagnetnih motenj.

Slabosti so sledeče:

- precej visoka cena in
- zelo težka namestitvev.

V primerjavi z bakrom se lahko po optičnem kablu prenašajo ogromne količine podatkov na razdaljah več deset kilometrov brez potrebe po ponavljalnikih signala (repetitorjih), kar v zameno zmanjšuje stroške vzdrževanja in zvišuje zanesljivost komunikacijskega kanala.

Prednosti optičnih vlaken pred bakrom so še naslednje [17]:

1. **Večja pasovna širina:** Optično vlakno zagotavlja veliko večjo pasovno širino kot baker in ima standardizirano delovanje do 10 Gbps, zato lahko optični kabel prenaša več informacij z večjo natančnostjo. To je tudi razlog, da podjetja, ki ponujajo telefonske storitve in kabelsko televizijo, zamenjujejo baker z optiko.
2. **Nižje slabljenje signala in doseganje daljših razdalj:** Ker signal optičnega vlakna temelji na svetlobi, so izgube signala med prenosom zelo majhne, podatki pa se lahko prenašajo pri višjih hitrostih in dosegajo daljše razdalje. Optično vlakno ni omejeno na 100-metrsko razdaljo zvite parice bakra; razdalje pri optičnih vlaknih segajo od 300 m pa do 40 km, odvisno od vrste kabla, valovne dolžine signala in omrežja. Optični kabli potrebujejo manj krepitev kot bakreni, zato so primernejši za uporabo na daljših razdaljah.
3. **Varnost:** Optični kabel ne izžareva signala in mu je izredno težko prisluškovati. V primeru, da bi nekdo prestrezal podatke nekje na poti kabla, bi bilo to lahko ugotoviti, saj bi se preusmeril snop svetlobe in celoten sistem bi odpovedal.
4. **Zanesljivost:** Optično vlakno zagotavlja izjemno zanesljiv prenos podatkov; odporen je na številne okoljske dejavnike, ki vplivajo na prenos podatkov po bakrenem

kablu. Jedro je izdelano iz stekla, ki je izolator, tako da električni tok ne more steči skozi. Prav tako je odporen na električne motnje in motnje radijskih frekvenc, presluhe, težave z impedanco in podobno. Manj dovzeten je tudi za nihanja temperature.

5. **Oblika:** Optični kabel je lažji, tanjši in trpežnejši od bakra. Njegova majhnost omogoča lažje rokovanje, v kabelnih kanalih pa porabi tudi dosti manj prostora. Čeprav je optični kabel še vedno težje zaključiti kot bakrenega, je napredek na področju priključkov očiten. Poleg tega je precej enostavneje preveriti delovanje optičnih kablov kot bakrenih.
6. **Cena:** Stroški optičnih kablov, njihovih komponent in strojne opreme se postopoma zmanjšujejo. Namestitveni stroški optičnih kablov so malo višji od bakrenih, saj potrebujemo usposobljeno osebo, ki ima dovolj znanja, da zaključi optični kabel. Trdimo lahko, da je uporaba optičnega vlakna dražja na kratki, vendar cenejša na daljši rok. Vzdrževanje optičnega kabla običajno stane manj, ima veliko manj prekinitev in zahteva manj povezovanja strojne opreme. Poleg tega pa optično vlakno odpravlja potrebo po ponovnem kabliranju za večjo zmogljivost omrežja.

3.2 Tehnologija PCoIP

Tehnologija PCoIP predstavlja preboj v kompresiji slikovnih pik za prikazovanje oddaljenih zaslonov preko obstoječih IP omrežij. Omogoča, da so namizja od najenostavnejših do najzahtevnejših uporabnikov centralno locirana in nadzorovana v podatkovnem centru, ob tem pa nudi oddaljenim uporabnikom izjemno uporabniško izkušnjo. Protokol PCoIP kompresira (skrči), šifrira in zakodira celotno uporabniško izkušnjo v podatkovnem centru in preko standardnih IP omrežij prenaša le slikovne pike do tankih oziroma ničelnih klientov (angl. *zero client*). Pri tem uporabnikovi podatki nikoli ne zapustijo podatkovnega centra. PCoIP je vgrajen tako v strojno opremo za strojno pospeševanje učinkovitosti, kot tudi v programsko opremo v VMware View. Podpira visoko ločljivost za sliko in zvok, 3D grafiko, več velikih zaslonov in povezljivost za USB periferne naprave, vse to povezano preko lokalnih (angl. *Local Area Network* - LAN) ali prostranih omrežij (angl. *Wide Area Network* - WAN) [18].

Protokol PCoIP gradijo tri osnovne značilnosti:

1. **PCoIP tehnologija uporablja upodabljanje slike na strani gostitelja:** V običajnih osebnih računalnikih so aplikacije, operacijski sistem in gonilniki grafičnih kartic tesno povezani z zaslonom, da zagotovijo optimalno delovanje. Z upodabljanjem slike na strani odjemalca so te komponente med seboj ločene še z omrežjem med podatkovnim centrom in uporabnikovim tankim odjemalcem. Za upodobitev slike mora vsaka uporabnikova akcija in odziv na to akcijo prepotovati celotno omrežje, kar zmanjšuje optimalnost delovanja aplikacij, saj morajo aplikacije čakati, da se upodabljanje slike zaključi. Zato PCoIP upodobi sliko na strani gostitelja in tako je videti, kot da delujemo v okolju, ki je običajno pri osebnih računalnikih. Pri tem aplikacije delujejo tako kot morajo. Ko se celotna slika upodobi na strani gostitelja, protokol PCoIP preko omrežja odda le kriptirane slikovne pike oddaljenim klientom. S tem je omogočeno, da imajo uporabniki pri sebi le tankega ali ničelnega klienta, ki zagotavlja dekodiranje slikovnih pik za prikaz slike. Klient se pri tem ne zaveda ničesar o sami aplikaciji, kar izniči potrebe po odvisnosti in nezdružljivosti med gostiteljem in oddaljenim klientom. Upodobitev slike na strani gostitelja prav tako izboljšuje občutljivost na zakasnitve v omrežjih. Protokol PCoIP zagotavlja enosmerno oddajanje slikovnih pik tankim klientom neodvisno od omrežne latence in omejitev pasovne širine. S tem omogoča bogato uporabniško izkušnjo tudi na prostranih omrežjih z visoko latenco.
2. **PCoIP je protokol s podporo več kodekom (angl. *multi-codec protocol*):** Ker niso vsi slikovni elementi na zaslonu iste vrste, bi bilo nesmiselno uporabljati en kodek za vse, saj bi ob tem porabljali pretirano pasovno širino omrežja. Namesto tega protokol PCoIP neprestano analizira slikovne elemente, kot so grafike, besedila, ikone, fotografije in video ter za vsakega od njih kompresira vsako slikovno piko s točno določenim kodekom. Inteligentna dekompozicija in optimizirano kodiranje slike z uporabo več kodekov omogoča učinkovit prenos in dekodiranje, pri tem pa je pasovna širina omrežja optimalno izrabljena. Ko se slikovne pike enkrat prenehajo spreminjati, PCoIP kodeki dokončno zgradijo vsako izmed slikovnih pik v stanje brez izgub in s tem zagotovijo popolno sliko.
3. **PCoIP se dinamično prilagaja razmeram v omrežju:** Kakovost prenešene slike protokol PCoIP enostavno prilagaja trenutni pasovni širini, ki jo ima na voljo. To doseže s pomočjo prilagodljivih kodirnikov, ki na prezasedenih omrežjih

avtomatsko prilagodijo kakovost slike, da ustreza prednastavljenim mejam. Ko se razmere v omrežju umirijo in ima protokol na voljo večjo pasovno širino, se ustrezno poveča tudi kvaliteta slike, ki jo prenaša. Ker PCoIP ne prenaša podatkovnih datotek, ampak le slikovne pike, je smiselno, da za prenos uporablja protokol v realnem času in s tem zagotovi odzivno in interaktivno uporabniško izkušnjo. S tem namenom je uporabljen protokol za prenos slikovnih pik kar protokol UDP (angl. *User Datagram Protocol*). UDP namreč v primerjavi s protokolom TCP zmanjšuje obremenjenost omrežja in izrabljeno pasovno širino, kar zagotavlja najboljšo uporabniško izkušnjo. Z enakim namenom protokol UDP uporabljata tudi na primer storitvi za internetno telefoniranje (angl. *VoIP*) in spletna televizija (angl. *IPTV*).

4 Meritve

Preden se posvetimo analizi storitve FlipIT, namenimo nekaj pozornosti zakasnitvam, ki nastajajo pri uporabi določenih fizičnih medijev. V nadaljevanju predstavimo meritve, ki jih bomo izvedli in opišemo metode ter uporabljena programska orodja.

4.1 Latenca

Latenca (oz. zakasnitev) je definirana kot časovni zamik med trenutkom, ko se je neko dejanje začelo in trenutkom, ko so opazni učinki tega istega dejanja. Beseda izhaja iz dejstva, da so med trajanjem latence učinki dejanja latentni, kar pomeni potencialni oziroma jih še ni moč opaziti [19]. Večina ljudi to pozna kot čas, ki ga potrebuje spletna stran, da se naloži ali čas, ki ga porabi elektronska pošta, da prispe iz pošiljateljevega odhodnega elektronskega predala do naslovnikovega poštnega predala prejetih sporočil. Da bi razumeli, zakaj do tega prihaja, je potrebno latenco razumeti podrobneje. Tako lahko latenco opišemo kot časovni zamik, ki ga posreduje vsak element (zvezdišče, stikalo, usmerjevalnik ipd.), ki sodeluje pri prenosu podatkov, bodisi zaradi obdelave, čakanja v vrsti ali pri prenosu podatka.

4.1.1 Medmrežna latenca

Vsi podatki za prenos po internetu se ne glede na svojo velikost razdelijo na manjše delce podatkov, ki jim pravimo okvirji. Hitrost pretoka okvirjev po internetu neposredno vpliva na uporabnikovo izkušnjo. Če prispejo podatki nemoteno in v pravočasnih časovnih intervalih, uporabnik vidi stalen pretok podatkov. V kolikor pa podatki prispejo z velikimi ali celo nesprejemljivimi zamudami, je uporabniška izkušnja degradirana.

S pojmom latenca v računalniških omrežjih označujemo minimalen čas, ki preteče od uporabniške zahteve do odziva sistema na to zahtevo. Merjena je v milisekundah, pogosto pa ji rečemo tudi zakasnitev potovanja. Latenca in na splošno propustnost omrežja je v osnovi omejena s tremi dejavniki, in sicer dolžino podatkovne poti, ki jo morajo paketi prepotovati med oddajnikom in sprejemnikom in zanesljivostjo protokola TCP (angl. *Transmission Control Protocol*) ter časovnimi zastoji paketov zaradi čakalnih vrst.

Poglejmo si, kaj sploh povzroča latenco. Ne glede na hitrost delovanja procesorja ali učinkovitost programske opreme je za manipulacijo in prikaz podatkov potrebna končno velika količina časa. Ne glede na tip aplikacije, naj bo to spletna stran z najnovejšimi novicami ali živa slika dogajanja na cestah, obstaja veliko dejavnikov, ki vplivajo na čas zakasnitve. Glavni vzroki za nastanek latence so opisani v naslednjih razdelkih [19].

Propagacijska zakasnitev

Propagacijska zakasnitev je primarni vir latence, saj definira, kako dolgo traja, da prispejo informacije od izvora do ponora, če potujejo s svetlobno hitrostjo. Ta v vakuumu znaša približno 300.000 km/s, kar bi pomenilo zakasnitev $3,33 \mu\text{s}$ za vsak kilometer prepotovane poti po prenosnem mediju. Realno stanje se od tega razlikuje, saj moramo upoštevati, da svetloba potuje po optičnem mediju, kar nekoliko zmanjša hitrost. Količino upočasnitve zaradi potovanja po prenosnem mediju imenujemo hitrostni faktor (angl. *Velocity Factor*). Med bakrenim in optičnim kablom se ta faktor bistveno ne razlikuje. Hitrosti prenosa podatkov po optičnih kablkih običajno dosegajo okoli 70 % svetlobne hitrosti, pri bakru pa se ta številka giblje med 40 % in 80 %. Številne vrste bakrenih kablov imajo hitrostni faktor 66 %.

Poglejmo si, kako dolgo bi potovalo elektronsko sporočilo iz New Yorka do Londona pri predpostavki, da obstaja med lokacijama zasebni komunikacijski kanal, ki ga v času meritve uporabljamo samo mi. Predpostavimo, da je razdalja med lokacijama 5458 km, hitrostni faktor po optičnem mediju znaša 70 %, po bakrenem mediju pa 66 %.

Podatki, ki jih potrebujemo za izračun propagacijske zakasnitve:

Hitrost svetlobe v vakuumu: $300.000 \text{ km/s} = 300.000.000 \text{ m/s}$
 Hitrostni faktor bakrene žice: 66%
 Hitrostni faktor optičnega vlakna: 70%

Hitrost prenosa podatkov po bakreni žici: $300.000.000 \text{ m/s} \times 0,66 = 19.800.000 \text{ m/s}$

Hitrost prenosa podatkov po optičnem kablu: $300.000.000 \text{ m/s} \times 0,7 = 21.000.000 \text{ m/s}$

Propagacijsko zakasnitev izračunamo kot razmerje med dolžino poti in hitrostjo širjenja signala po določenem mediju.

Fizični medij uporabljen za prenos	Propagacijska zakasnitev
Bakreni kabel	$5.458 / 19.800.000 = 27,56 \text{ ms}$
Optični kabel	$5.458 / 21.000.000 = 25,99 \text{ ms}$

Tabela 4.1: Propagacijska zakasnitev.

V tabeli 4.1 so prikazane zakasnitve, ki jih povzroči propagacija signala po fizičnem prenosnem mediju. Tudi če smo edini uporabnik na mediju, imamo na voljo neomejeno pasovno širino in želimo poslati le en bit podatka, bi bila latenca poslanega bita enaka najmanj propagacijski zakasnitvi. Do te zakasnitve pride ne glede na količino podatkov, ki jih pošiljamo, hitrosti prenosa podatkov ali protokola, ki ga uporabljamo za prenos.

Serializacijska zakasnitev

Serializacija je pretvorba bajtov podatkov, ki so shranjeni v pomnilniku računalnika, v zaporedni bitni tok, ki se prenaša preko komunikacijskih medijev. Serializacija zavzame končno količino časa in se jo izračuna po formuli:

$$\text{Serializacijska zakasnitev} = \frac{\text{velikost paketa v bitih}}{\text{hitrost prenosa v bitih na sekundo}} \quad (4.1)$$

Velikost paketa v bajtih	Tip povezave	Serializacijska zakasnitev
1500	56K modem	214 ms
1500	100Mbps LAN	0,12 ms

Tabela 4.2: Serializacijska zakasnitev.

Tabela 4.2 prikazuje razliko med serializacijskima zakasnitvama, ki nastaneta pri prenosu paketa enake velikosti po dveh različnih tipih povezave. Vidimo, da lahko serializacijska zakasnitev predstavlja precejšnjo zamudo na povezavah, ki delujejo z nižjo hitrostjo prenosa, vendar pa dandanes ta zakasnitev predstavlja majhen delež celotne zakasnitve v primerjavi z ostalimi, saj so povezave v večini zmožne zagotavljati višje hitrosti prenosa podatkov. Zakasnitev lahko zmanjšamo tudi na račun velikosti podatkov, ki jih prenašamo. Glasovni in podatkovni bitni tokovi običajno uporabljajo majhne velikosti paketov, da s tem zmanjšajo vpliv serializacijske zakasnitve.

Podatkovni protokoli in latenca

Podatkovni komunikacijski protokoli na različnih plasteh protokolnega sklada s tako imenovanimi stiski rok (angl. *handshake*) skrbijo za sinhronizacijo oddajnika in sprejemnika. S to komunikacijo med njima poskrbimo za njuno posodabljanje o statusu povezave in odpravo napak, ki se lahko pojavijo med prenosom. Nekaj časa traja, da se ti stiski rok prenesejo po povezavi, kar prištejemo k skupni zakasnitvi prenosa podatkov. Podatkovne protokole bomo podrobneje spoznali v podpoglavju 4.1.2.

Usmerjanje in preklapljanje

V IP (angl. *Internet Protocol*) omrežjih kot je internet, so podatkovni paketi posredovani od izvora do ponora preko vrste IP usmerjevalnikov in stikal, ki nenehno spreminjajo svojo odločitev o tem, kateri naslednji usmerjevalnik je najboljše izbrati na poti do cilja. Na izbiro poti imajo velik vpliv nastavitve usmerjevalnika in morebitni zastoji paketov na povezavah, kar lahko vpliva na spremembo usmerjanja paketov, to pa se posledično kaže tudi v spremembi končne zakasnitve. Visoko zmogljivi usmerjevalniki in stikala dodajo približno 200 μ s zakasnitve zaradi paketne obdelave. Če predpostavimo, da je povprečna razdalja med hrbteničnimi IP usmerjevalniki enaka 800 km, je zakasnitev 200 μ s enaka propagacijski zakasnitvi, ki jo povzroči 40 km dolgo optično vlakno. Iz tega sklepamo,

da usmerjanje in preklapljanje h končni latenci povprečne internetne povezave prispeva le 5 %.

Čakalne vrste

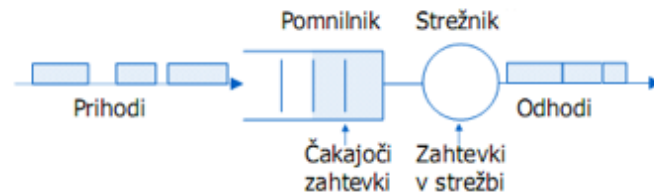
Latenca čakalne vrste je zopet ena od težav, ki se pojavlja na prenosni plasti IP sklada. Ta se nanaša na količino časa, ki jo paket preživi v vrsti in ne dela nič drugega, kot da čaka na nadaljevanje prenosa. Čakalne vrste nastajajo zaradi prekomernega izkoriščanja povezav po tem, ko sta bili zakasnitvi zaradi usmerjanja in preklapljanja že upoštevani. Čakanje paketov v vrstah ima velik vpliv na delovanje celotnega omrežja, saj lahko doda do 20 ms dodatne zakasnitve, kar je v primerjavi z ostalimi vzroki za nastanek latence precej velika količina časa.

Čakalne vrste lahko nastajajo na izvornem usmerjevalniku, vsakemu od vmesnih usmerjevalnikov na poti ali ciljnem usmerjevalniku, kjer paket konča svojo pot. Ko paket prispe do usmerjevalnika, ga mora le-ta obdelati in poslati naprej. Slabost usmerjevalnikov je, da lahko obdelujejo le en paket naenkrat. Ko paketi prihajajo hitreje, kot jih je usmerjevalnik zmožen procesirati, jih usmerjevalnik postavi v čakalno vrsto. Pri tem pride do težave - po kakšnem principu bo usmerjevalnik začel procesirati pakete v čakalni vrsti? Poglejmo si nekaj osnovnih strežnih disciplin [20]:

- FIFO (angl. *first in first out*): vrstni red jemanja paketov iz vrste je enak vrstnemu redu prihajanja v vrsto;
- LIFO (angl. *last in first out*): vrstni red jemanja paketov iz vrste je obraten vrstnemu redu prihajanja v vrsto; paket, ki je zadnji prišel v vrsto, bo postrežen prvi;
- Prioritetna disciplina: vrstni red jemanja paketov iz vrste je določen s prioriteto določenega paketa; venomer se bo prvi začel obdelovati paket z najvišjo prioriteto, ne glede na vrstni red prihajanja paketov;
- SJF (angl. *shortest job first*): naslednji obdelani paket je paket z najmanjšo velikostjo;
- LJF (angl. *largest job first*): naslednji obdelani paket je paket z največjo velikostjo.

Ko se začne čakalna vrsta polniti zaradi paketov, ki prihajajo hitreje, kot jih je usmerjevalnik zmožen procesirati, se zamuda, ki jo občuti paket ob prenosu skozi čakalno

vrsto, občutno povečuje. Povprečna zakasnitev, ki jo občuti vsak paket, se izračuna po formuli $1/(\mu-\lambda)$, kjer je μ število paketov, ki jih je usmerjevalnik zmožen obdelati v eni sekundi in λ povprečna intenzivnost prihajajočih paketov. Ta formula se lahko uporablja vedno, kadar se nobenega paketa v čakalni vrsti ne zavrže ampak ima usmerjevalnik možnost obdelati vse.



Slika 4.1 Strežni sistem z enim samim strežnikom, kot je na primer usmerjevalnik.

Največja zakasnitev zaradi čakalne vrste je sorazmerna z zasedenostjo usmerjevalnikovega medpomnilnika. Daljša, kot je čakalna vrsta, dlje bo paket čakal v vrsti na obdelavo. Tu se pojavi problem končno velikih medpomnilnikov in s tem povezane potencialne izgube paketov. Lahko pride do tega, da ima usmerjevalnik na voljo premajhen medpomnilnik, da bi vanj spravil vse prispele pakete, zato je prisiljen morebitne nove prihajajoče pakete preprosto zavreči, saj je njegova čakalna vrsta polna. Strežni sistem, kot je na primer usmerjevalnik, prikazuje slika 4.1.

4.1.2 Latenca in internetni sklad protokolov

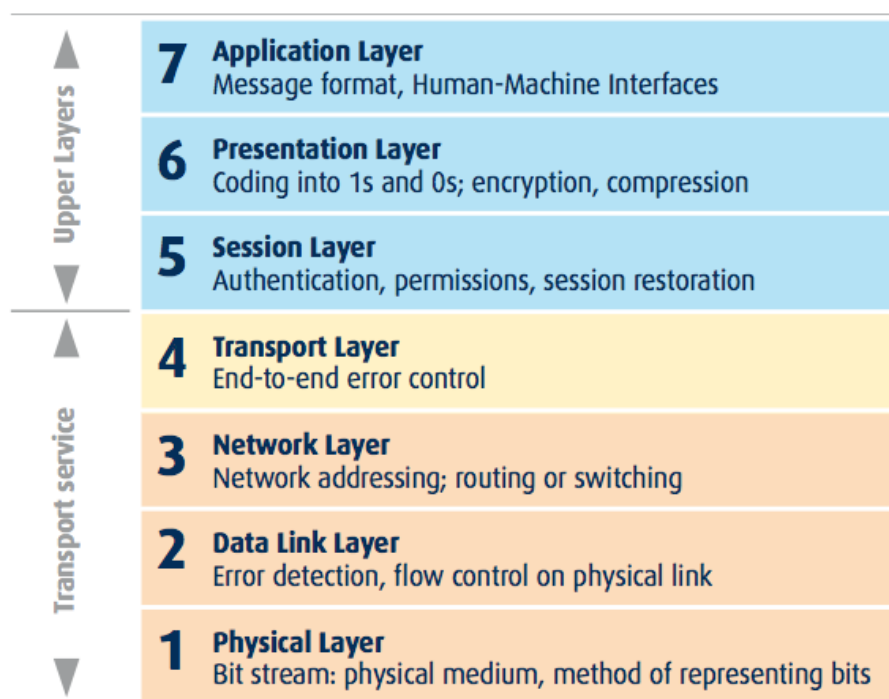
Za razumevanje težav, ki jih povzroča latenca, je pomembno, da razumemo osnovne elemente omrežnega povezovanja, ki si jih bomo ogledali v tem razdelku.

Protokol TCP/IP je bil v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja prvotno razvit kot del raziskovalnega omrežja ameriške organizacije DARPA oz. ARPA (angl. *United States Defense Advanced Research Projects Agency*). Novo nastalo mrežo so poimenovali ARPAnet, namenjena pa je bila povezovanju različnih omrežij v eno veliko mrežo vseh mrež (danes poznano kot internet). Ob uporabi takrat poznanih mrežnih protokolov so naleteli na težavo, saj je imelo veliko število protokolov napake ali omejitve, bodisi v konceptu ali v praktičnih zadevah kot je zmogljivost ob uporabi v omrežju ARPAnet. Snovalci teh protokolov so hitro ugotovili, da bi uporaba obstoječih protokolov lahko sčasoma privedla do težav, ko bi se ARPAnet širil, zato so zasnovali enega izmed temelj-

nih mrežnih protokolov TCP, takrat poimenovanega “Transmission Control Program”. Po njem je bil tudi razvit model TCP/IP [21].

Glavna značilnost tega modela temelji na konceptu enkapsulacije, kar dobesedno pomeni vzeti kos podatkov in jih zaviti v skupen zabojnik za nadaljnjo posredovanje. Ta zabojnik je znan kot IP paket in sestoji iz dveh preprostih elementov; glave, ki ji sledijo podatki. Glava vsebuje vse potrebne informacije za usmerjanje paketa do cilja, podatki pa so lahko kakršnegakoli tipa, ki ga nameravamo prenesti preko medmrežja. Natančna oblika podatkovnega odseka paketa IP je določena s podatkovnim protokolom, ki se uporablja za prenašanje preko omrežja. Te protokole bomo spoznali v nadaljevanju.

Da bi razumeli, kje točno prihaja do latence, si pogledjmo zgradbo najbolj osnovne enote omrežja in proces prenašanja le-te. Za to se obrnemo na OSI model, ki je bil ustvarjen za opis postopka prilagoditve podatkov, ki jih uporablja aplikacija, v nekaj, kar je možno poslati preko medmrežja.

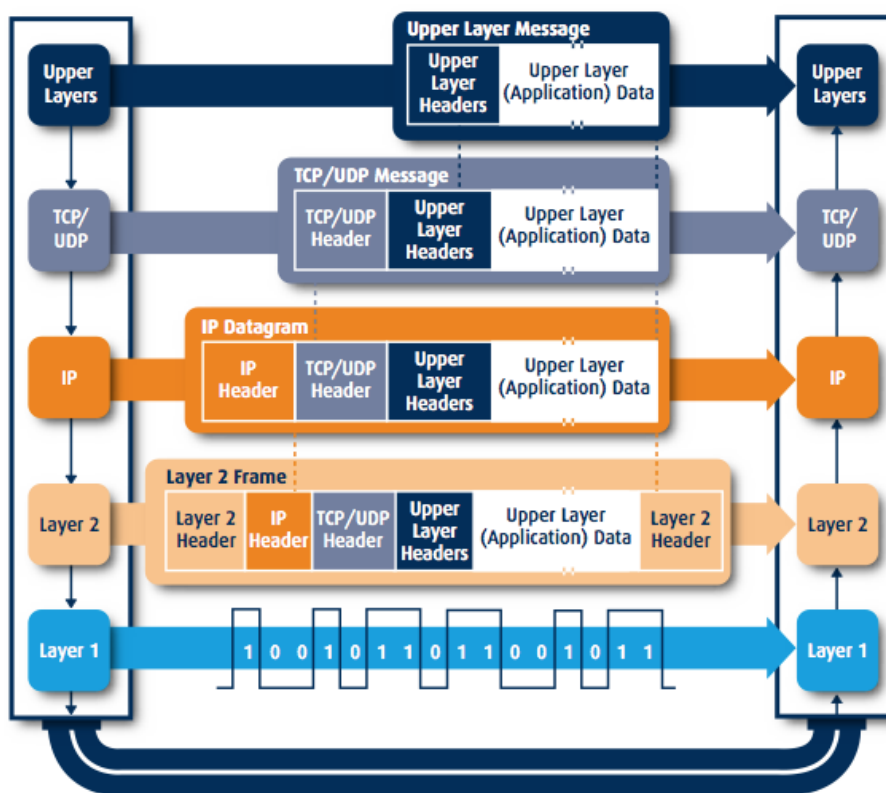


Slika 4.2 Plasti OSI modela [19].

Zgornje plasti modela OSI opisujejo dogajanje znotraj aplikacij, ki tečejo na računalniku. Te aplikacije so na primer spletni brskalniki, programi za dostop do elektronske pošte

ipd. Nižje plasti skrbijo za pretvarjanje teh informacij v podatke, ki jih lahko pošljemo po internetu. Tu je tudi točka, kjer se zgodi enkapsulacija in pride do nastanka osnovnega gradnika interneta oziroma IP paketa. Plasti ISO modela so prikazane na sliki 4.2.

Na podoben način je zgrajen tudi model TCP/IP, ki je prav tako zelo razširjen model za opisovanje protokolov internetnega sklada. Razlika med njima je v razporeditvi plasti, saj so pri modelu TCP/IP v aplikacijski plasti združene tri najvišje plasti modela OSI (aplikacijska, predstavitevna in sejna plast), delovanje pa je popolnoma enako. Razlog za delitev na plasti je pri obeh modelih čisto enostaven. Ko so snovalci medmrežja ugotavljali, kako na enostaven način opisati nekaj tako zapletenega, kot je internet, se jim je porodila ideja o večplastnem skladu protokolov. V tako zasnovani arhitekturi vsaka posamezna plast nudi določeno storitev višje ležeči sosednji plasti. To pomeni, da višje ležeča plast zahteva določeno storitev nižje ležeče plasti, kar lahko prevedemo tudi v relacijo uporabnik storitve - izvajalec storitve.



Slika 4.3 TCP/IP model [19].

Model TCP/IP je dobil svoje ime po dveh najpomembnejših protokolih, in sicer TCP (angl. *Transmission Control Protocol*) in IP (angl. *Internet Protocol*), ki sta bila prva omrežna protokola zasnovana v temu standardu. Protokol TCP skrbi za zanesljivo prenašanje paketov, da so paketi brez napak in v pravem vrstem redu. Naloga protokola IP, ki je eno plast nižje, pa je zagotavljanje prenosa paketov od izvora do ponora izključno preko naslovov IP, ki so zapisani v glavi paketa.

Postopek prenosa podatkov v omrežju je sestavljen iz treh korakov (slika 4.3):

1. Podatki na izvorni aplikaciji se začnejo prenešati po skladu navzdol do nižjih plasti. Med tem se originalni podatki zapakirajo v t.i. IP datagrame, ki jim pravimo tudi IP paketi. Izvorni računalnik nato pošlje pakete v omrežje.
2. Paketi se prenašajo po omrežju toliko časa, dokler ne dosežejo ponornega računalnika.
3. Ponorni računalnik prejme pakete iz omrežja in jih začne prenašati po skladu navzgor. Med procesom se originalni podatki odpakirajo in prenesejo do ciljne aplikacije.

Dodatno enkapsulacijo na drugi plasti (od spodaj navzgor) imenujemo okvirjanje (angl. *framing*). To je tudi stopnja, kjer se IP datagram pretvori v bite, ki so primerni za pošiljanje po omrežju. Plast pod njo je samo še fizična plast oziroma prva plast. Ta skrbi za pretvorbo bitov, poslanih od druge plasti, v električne, optične ali radijske signale, ki se jih lahko prenaša.

4.2 Izvedba meritev

Pri meritvah razdelimo uporabnike na dve skupini glede na tip povezave, ki jo imajo do podatkovnega centra FlipIT. Ta povezava je lahko preko bakrene žice ali optičnega vlakna. To bo naš osnovni kriterij, glede na katerega bomo primerjali različne parametre opisane v nadaljevanju.

Pri izboru strategije za izvedbo zmogljivostne analize imamo na voljo dve možnosti glede na tip bremena, in sicer:

- **Breme simuliramo:** Podjetje VMware ponuja orodje za merjenje skalabilnosti in zmogljivosti virtualiziranih namizij, imenovano View Planner. S tem orodjem je mogoče ustvarjati realistično breme, pri čemer merimo učinkovitost storitve. Za običajne uporabnike storitve FlipIT bi lahko dejali, da pri svojem delu uporabljajo

večinoma aplikacije za delo s pisarniškimi orodji. Tako lahko merimo odzivnost virtualiziranega namizja pri odpiranju aplikacij kot so Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Outlook, Adobe Acrobat Reader in aplikacij, ki omogočajo hipno sporočanje (angl. *Instant Messaging*).

- **Breme merimo pri strankah FlipIT:** Pri tej možnosti merimo dejansko obremenjenost virtualiziranih namizij aktivnih uporabnikov FlipIT. Te meritve so bolj natančne pri določanju zmogljivosti storitve FlipIT, saj uporabniki velikokrat poleg običajnih pisarniških opravil počnejo še kaj drugega (brskajo po spletu, si ogledujejo video posnetke, poslušajo internetni radio, uporabljajo programe za grafično oblikovanje in podobno). Taka uporaba povzroči bodisi povečano uporabo strežniških virov v podatkovnem centru, bodisi povečano porabo pasovne širine, vse to pa prispeva k celotni uporabniški izkušnji.

Izbrali smo zadnjo možnost, saj lahko le tako vidimo, kako dobra je storitve FlipIT ob uporabi realističnih in ne sintetiziranih bremen.

Števec	Opis
RoundTripLatencys	Povratna latenca med PCoIP strežnikom in klientom, merjena v ms.
RXPacketLossPercent	Število prejetih izgubljenih paketov v odstotkih.
TXPacketLossPercent	Število poslanih izgubljenih paketov v odstotkih.
TXBWkbitPersec	Pasovna širina za poslane PCoIP pakete, merjena v kilobitih na sekundo (kbps).
TXBWActiveLimitkbitPersec	Ocenjena prosta pasovna širina, merjena v ms.
ImagingEncodedFramesPersec	Število slikovnih okvirjev, ki so bili kodirani na intervalu ene sekunde (fps).
ImagingTXBWkbitPersec	Pasovna širina za poslane slikovne pakete, merjena v kilobitih na sekundo (kbps).

Tabela 4.3: Uporabljene metrike pri meritvah.

Meritve bomo izvajali s programom Performance Monitor (v nadaljevanju PerfMon), ki je del operacijskega sistema Microsoft Windows. V PerfMon moramo najprej ustvari novo predlogo Data Collector Set, v kateri določimo vse števec, ki jih želimo meriti (tabela

4.3) in urnik izvajanja meritev. Odločili smo se, da bomo meritve izvajali med tednom in sicer en delovni dan med 07:00 in 15:00 uro, saj predpostavljamo, da so uporabniki v tem času najbolj aktivni in bomo dobili najbolj zanesljive rezultate. Znotraj predloge moramo določiti tudi časovni interval merjenja določenega števca. Ker bomo meritve izvajali 8 ur, je smiselno izbrati interval 5 sekund, kar pomeni, da vsakih 5 sekund zabeležimo vrednosti izbranih števcov. Če bi meritve izvajali več dni ali celo en teden, bi bilo ta interval boljše povečati na 5 minut ali več. Ko imamo ustvarjeno predlogo, jo je potrebno prenesti na vsa virtualizirana namizja uporabnikov, pri katerih želimo izvajati meritve. Tako bomo merili vrednosti vseh števcov določenih s predlogo, od virtualiziranih namizij, ki tečejo v varnem podatkovnem centru FlipIT, do tankih klientov izbranih uporabnikov.

Glede na tip povezave uporabnike razdelimo na dve skupini. Prva skupina so uporabniki, ki do storitve FlipIT dostopajo po bakreni povezavi, druga skupina pa uporabniki, ki za dostop uporabljajo povezavo preko optičnega omrežja. Izbrali smo si po dve stranki vsakega tipa povezave in jih znotraj razdelili še glede na velikost pasovne širine, ki jo uporabljajo za dostop do podatkovnega centra FlipIT. Pri vsaki stranki smo izvajali meritve na treh naključnih uporabnikih.

4.3 Rezultati meritev

V tem razdelku predstavimo rezultate in jih analiziramo. Med seboj primerjamo rezultate različnih skupin uporabnikov, glede na vrsto povezave preko katere dostopajo do storitve FlipIT.

4.3.1 Meritve po bakrenem omrežju

Tu smo v meritve zajeli uporabnike, ki imajo zagotovljeno povezavo preko bakrene žice. Kot vzorčni primer smo vzeli 2 stranki z različnima pasovnima širinama. Pri vsaki stranki smo izbrali 3 naključne uporabnike in pri njih merili vse števce, opisane v tabeli 4.3. Obe stranki imata povezavo zagotovljeno preko VDSL (angl. *very-high-bit-rate DSL*), kar je ena od izvedb tehnologije DSL (angl. *Digital Subscriber Line*). Prva stranka, pri kateri smo izvajali meritve, ima pasovno širino VDSL 8/1 Mbit/s. Rezultati so prikazani v tabeli 4.4.

Števec	Povprečna vrednost	Najnižja vrednost	Najvišja vrednost
RoundTripLatency [ms]	18,8	16	356,7
RXPacketLoss [%]	0,04	0	19,42
TXPacketLoss [%]	0	0	3,37
TXBW [kbit/s]	23,4	0	2332,7
TXBWActiveLimit [kbit/s]	3442,1	1653,3	4957,3
ImagingEncodedFramesPersec [fps]	3	0	31
ImagingTXBW [kbit/s]	22,1	0	2295,5

Tabela 4.4: Rezultati meritev pri stranki s pasovno širino 8/1 Mbit/s.

Naslednja stranka ima pasovno širino VDSL 10/1 Mbit/s. Rezultate prikazuje tabela 4.5.

Števec	Povprečna vrednost	Najnižja vrednost	Najvišja vrednost
RoundTripLatency [ms]	14,4	10	218,7
RXPacketLoss [%]	0,04	0	8,37
TXPacketLoss [%]	0,07	0	38,86
TXBW [kbit/s]	25,4	0,1	3337,3
TXBWActiveLimit [kbit/s]	6996,9	4034,7	10277,3
ImagingEncodedFramesPersec [fps]	2,2	0	30,7
ImagingTXBW [kbit/s]	24,7	0,1	3384,7

Tabela 4.5: Rezultati meritev pri stranki s pasovno širino 10/1 Mbit/s.

4.3.2 Meritve po optičnem omrežju

Tu smo v meritve zajeli uporabnike, ki imajo zagotovljeno povezavo preko optičnih vlaken. Kot vzorčni primer smo vzeli 2 stranki z različnima pasovnima širinama. Pri vsaki stranki smo izbrali 3 naključne uporabnike in pri njih merili vse števec, opisane v tabeli 4.3.

Tretja izbrana stranka ima internetno povezavo zagotovljeno preko optičnega omrežja s pasovno širino 20/20 Mbit/s. Rezultati so prikazani v tabeli 4.6.

Števec	Povprečna vrednost	Najnižja vrednost	Najvišja vrednost
RoundTripLatency [ms]	3,7	1,7	160,3
RXPacketLoss [%]	0,02	0	10,28
TXPacketLoss [%]	0,03	0	8,15
TXBW [kbit/s]	325,8	0,4	6995,8
TXBWActiveLimit [kbit/s]	7235,6	973,3	31864
ImagingEncodedFramesPersec [fps]	5,8	0	31
ImagingTXBW [kbit/s]	137,6	0,4	6376,4

Tabela 4.6: Rezultati meritev pri stranki s pasovno širino 20/20 Mbit/s.

Zadnja stranka, pri kateri smo izvajali meritve, ima internetno pasovno širino 50/50 Mbit/s. Rezultati so prikazani v tabeli 4.7.

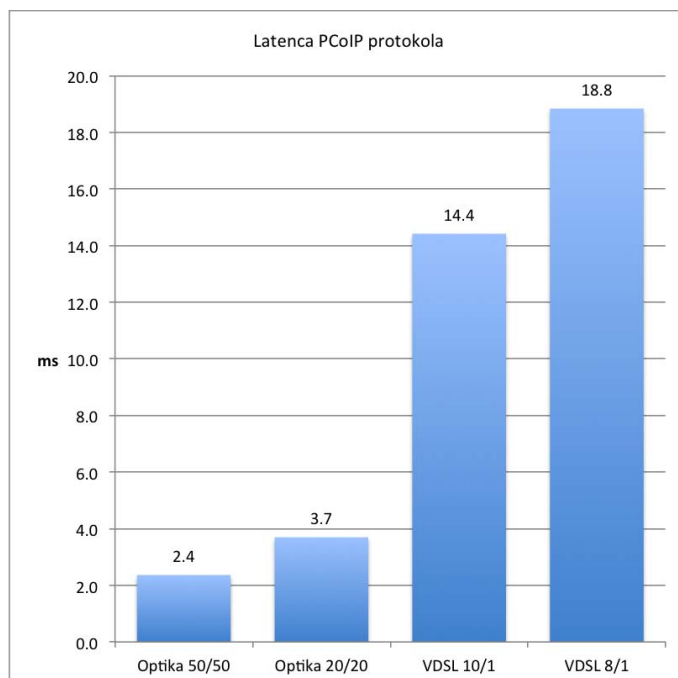
Števec	Povprečna vrednost	Najnižja vrednost	Najvišja vrednost
RoundTripLatency [ms]	2,4	0,3	23,3
RXPacketLoss [%]	0,01	0	7,63
TXPacketLoss [%]	0,01	0	9,3
TXBW [kbit/s]	69,5	0	4407,04
TXBWActiveLimit [kbit/s]	8063	730,7	11506,7
ImagingEncodedFramesPersec [fps]	3,9	0	31
ImagingTXBW [kbit/s]	67,7	0	4082,9

Tabela 4.7: Rezultati meritev pri stranki s pasovno širino 50/50 Mbit/s.

4.4 Analiza rezultatov

Rezultati kot pričakovano odražajo prednosti delovanja storitve FlipIT v optičnih omrežjih pred bakrenimi. Hitro lahko opazimo razliko med povprečnimi latencami na omenjenih tipih povezav. Latenca se nekoliko razlikuje tudi, če primerjamo vsak tip povezave posebej. Na splošno velja, da nižja kot je pasovna širina povezave, višja je latenca. Slika 4.4 prikazuje latenco protokola PCoIP na vseh štirih tipih povezav merjenih strank. Ob tem omenimo tudi, da se zračne linije razdalj od strank do podatkovnega centra FlipIT razlikujejo. Stranke, ki dostopajo do oblačne storitve preko optičnih vlaken, so oddaljene

30 km, stranke, ki imajo povezavo zagotovljeno preko bakrenega omrežja, pa 70 km, kar do neke mere tudi vpliva na dobljene rezultate.

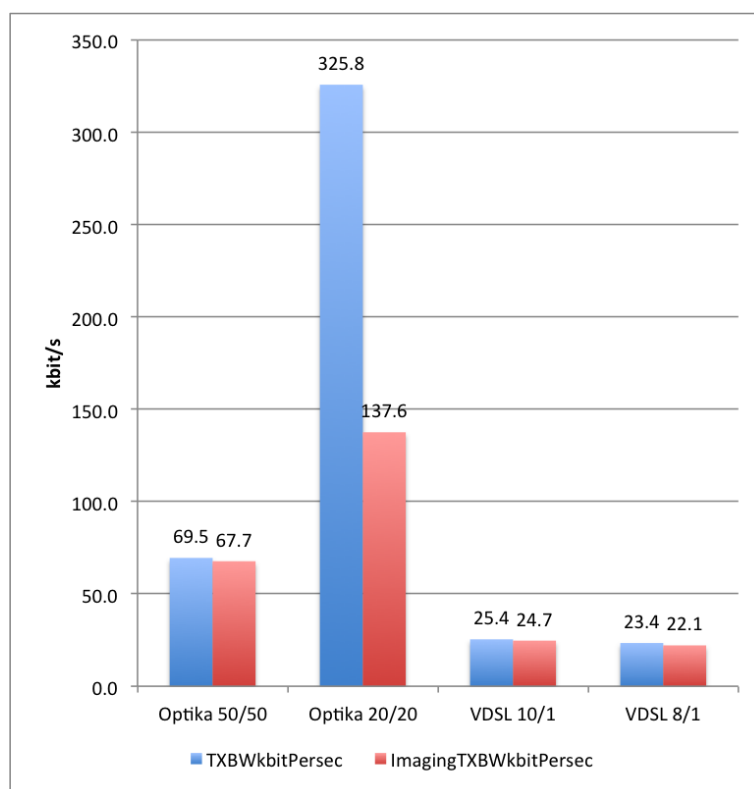


Slika 4.4 Primerjava povprečne latence na različnih tipih povezav.

Pri merjenju števila izgubljenih paketov bi pričakovali nekoliko višje odstotke izgub paketov, a se je protokol PCoIP izkazal kot zelo zanesljiv. Ob analizi rezultatov meritev smo ugotovili, da je povprečna izguba paketov 0,03 %, kar pomeni, da se v povprečju izgubijo 3 od 10.000 paketov. Tu sta se oba uporabljena tipa fizičnih medijev izkazala kot precej zanesljiva, saj med njima ni velikih odstopanj. Nekoliko izstopa najvišja vrednost izgubljenih paketov pri stranki s pasovno širino VDSL 10/1 Mbit/s (tabela 4.5), ki je narasla na skoraj 40 %. Predvidevamo, da je bilo to zgolj hipno, saj je odstotek povprečne izgube paketov zelo nizek in je s tem izpolnil naša pričakovanja.

Števec *TXBWkbitPersec*, s katerim smo merili pasovno širino, ki jo zavzamejo PCoIP paketi poslani klientu, nas je prav tako pozitivno presenetil. V povprečju potrebujemo od 23 do 325 kbit/s pasovne širine za zagotavljanje ustreznih storitev odjemalcem. Tudi tu smo opazili nekaj izrazitih skokov (angl. *peak*) vrednosti, ko so paketi PCoIP zasedli pasovno širino več Mbit/s, kar je popolnoma normalno, če so bili uporabniki pri svojih opravilih bolj aktivni. Števec, ki je tesno povezan s prejšnjim, nam v celoti ni podal

realnih rezultatov. *TXBWActiveLimitkbitPersec* meri, koliko pasovne širine ocenjuje protokol PCoIP, da mu je še na voljo. Pri povprečnih vrednostih skozi celoten čas trajanja meritev lahko trdimo, da je le-to protokol dokaj pravilno ocenil. Vrednost ni bila enaka celotni pasovni širini, ki jo ima določena stranka zakupljeno, saj je mogoče, da protokol PCoIP ni imel dodeljene celotne pasovne širine. Istočasno pa je verjetno, da se je na omrežju izvajala še kakšna druga aktivnost in s tem porabljala preostalo pasovno širino. V vseh primerih je bila ocenjena prosta pasovna širina manjša od zakupljene, kar govori o pravilni oceni protokola. Drugače je pri najvišji ocenjeni prosti pasovni širini, kjer je protokol pri stranki s pasovno širino 20/20 Mbit/s, zagotovljeni preko optičnega omrežja, ocenil, da ima na voljo celo več pasovne širine, kot jo ima stranka zakupljene (tabela 4.6).



Slika 4.5 Korelacija med števema *ImagingTXBWkbitPersec* in *TXBWkbitPersec*.

Nazadnje analiziramo še števca, ki merita zmogljivost upodabljanja slike protokola PCoIP. S števcem *ImagingEncodedFramesPersec* smo merili število slikovnih okvirjev, ki jih je PCoIP strežnik kodiral in poslal klientu za prikaz celotnega oddaljenega namizja.

Najvišja vrednost, ki jo je ta števec dosegel pri vseh meritvah, je presegla mejo 30 okvirjev na sekundo (angl. *frames per second* - *fps*). Na splošno lahko trdimo, da je za ogled video posnetka potrebnih minimalno od 25 do 30 fps, da človeško oko zazna konstantno gladko premikanje slikovnih okvirjev. V kolikor bi bila ta številka pod omenjeno mejo, bi zaznali nestalen prenos okvirjev in iz predvajanega posnetka bi videli zaostanek slik. Povprečne vrednosti istega števca so precej nizke, gibljejo se od 2,2 do 5,8 fps. Iz tega lahko sklepamo dvoje. Mogoče je, da je bil strežnik zmožen kodirati pri višji vrednosti okvirjev na sekundo, a ni imel na voljo zadostne pasovne širine, da bi to prenesel po omrežju. Pri števcu *TXBWActiveLimitkbitPersec* na primer opazimo, da je imel protokol na razpolago še zadosti proste pasovne širine, da bi se prenos kljub temu lahko izvršil. Druga možnost je, da so uporabniki opravljali statična opravila (na primer dela s pisarniškimi orodji) namesto dinamičnih (na primer ogled videoposnetkov) in zaradi tega niso potrebovali zahtevnejšega in boljšega kodiranja.

Števec *ImagingTXBWkbitPersec* meri porabljeno pasovno širino poslanih PCoIP paketov, ki služijo za upodabljanje slike oddaljenega namizja. Povprečna porabljena pasovna širina je precej nizka, saj se giblje med 22,1 in 137,6 kbit/s. Tudi tu opazimo izrazite skoke vrednosti števca, ki nikjer ne presegajo niti 30 % celotne pasovne širine stranke. Prav tako je zanimiva korelacija med števčema *TXBWkbitPersec* in *Imaging-TXBWkbitPersec*. Iz slike 4.5 razberemo, da v 75 % primerov vsi poslani PCoIP paketi, ki upodabljaajo sliko oddaljenega namizja, za to porabijo skoraj celotno pasovno širino le-teh. V 25 % primerov pa je razlika med števčema več kot dvakrat višja.

5 Zaključek

V diplomskem delu smo analizirali oblachno storitev FlipIT z vidika časa dostopa. Zmogljivostno analizo smo izvedli na dejanskih uporabnikih te oblachne storitve in sicer tako, da smo beležili uporabnikovo aktivnost en delovni dan med 7:00 do 15:00 uro. Izbrali smo si dve stranki, ki dostopata do oblaka FlipIT preko bakrenega omrežja in dve, ki dostopata do istega oblaka preko optičnih vlaken, ter pri vsaki stranki izbrali tri naključne uporabnike. Pričakovali smo, da bodo rezultati odražali prednosti delovanja FlipIT na optičnih omrežjih pred bakrenimi. To je izrazito opazno pri merjenju povprečne povratne latence med strežnikom in končnim uporabnikom. Za primerjavo lahko vzamemo stranko, ki ima povezavo zagotovljeno preko optičnega omrežja z nižjo pasovno širino od obeh strank na optičnem omrežju in stranko, ki ima na bakrenem prenosnem mediju višjo pasovno širino. Razlika v povprečni latenci je skoraj štirikratna, kar pomeni, da morajo uporabniki stranke, ki ima na voljo bakreno povezavo, na odziv za enako dejanje, ki ga storijo uporabniki na optični povezavi, v povprečju čakati štirikrat dlje.

Metrika izgub paketov pa podobnih rezultatov ni pokazala, saj sta se oba prenosna medija izkazala za zanesljiva. Tudi, če bi meritve ponovili na večji množici uporabnikov,

bi najverjetneje dobili primerljive rezultate - zelo nizek odstotek izgubljenih paketov.

Enakega ne moremo trditi za ostale opazovane metrike. Rezultati nekaterih metrik so tako nihali, da smo težje naredili primerjavo med prenosnima medijema oziroma različnimi pasovnimi širinami. Izvedene meritve bi lahko izboljšali tako, da bi vzeli čim večji vzorec uporabnikov z različnimi tipi povezav do oblačnega podatkovnega centra, saj bi tako dobili natančnejše rezultate in s tem bolj reprezentativen vzorec.

Sklepamo lahko, da zagotavljanje storitve FlipIT ne zavzame veliko pasovne širine, a s tem vseeno ponudi bogato uporabniško izkušnjo, primerljivo z dostopom do uporabniških namizij preko lokalnih računalnikov. Pri zasedeni pasovni širini moramo vzeti na znanje, da je to le porabljena pasovna širina enega uporabnika in da je ključnega pomena število uporabnikov določene stranke. Izvedene meritve lahko služijo kot okvirni izračun, kakšen tip povezave s kakšno pasovno širino potrebujemo za nudenje bogate uporabniške izkušnje določenemu številu uporabnikov.

LITERATURA

- [1] Nandgaonkar, Suruchee V. et al, A comprehensive study on cloud computing, International Journal of Computer Science and Mobile Computing 3 (4) (2014) 733–738.
- [2] M. Armbrust, A. Fox, R. Griffith, A. D. Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, A. Rabkin, I. Stoica, M. Zaharia, A view of cloud computing, Communications of the ACM 53 (4) (2010) 50–58.
- [3] G. Pallis, Cloud computing: The new frontier of internet computing, IEEE Internet Computing 14 (5) (2010) 70–73.
- [4] P. Mell, G. Timothy, The NIST Definition of Cloud Computing, National Institute of Standards and Technology (2011) 6–7.
- [5] VMware, How Virtualization Works, <http://www.vmware.com/virtualization/virtualization-basics/how-virtualization-works>, [Dostopano: september 2014].
- [6] National Instruments, Virtualization Basics, <http://www.ni.com/white-paper/8708/en/>, [Dostopano: september 2014].
- [7] FlipIT, Najem celotnega IT in računalništva za podjetja, <http://www.flipit.si>, [Dostopano: september 2014].
- [8] USB over network, What is usb for remote desktop, <http://www.usb-over-network.com/usb-for-remote-desktop.html>, [Dostopano: september 2014].
- [9] Hub pages, Types of Transmission Media, <http://hubpages.com/hub/Data-Communication>, [Dostopano: september 2014].

- [10] Dipartimento di Informatica, Transmission Media, <http://www.di.unisa.it/~vitsca/RC-0809I/ch04.pdf>, [Dostopano: september 2014].
- [11] Perfect Vision Manufacturing, Coaxial Cable Guide, <https://www.perfect-vision.com/PerfectVision/CoaxialCableGuide.aspx>, [Dostopano: september 2014].
- [12] Satellite TV Engineering, An easy explanation of straight and cross ethernet (UTP) cable, [http://www.sattvengg.com/2013/09/an-easy-explanation-of-straight-and-cross-ethernet-\(UTP\)-cable/](http://www.sattvengg.com/2013/09/an-easy-explanation-of-straight-and-cross-ethernet-(UTP)-cable/), [Dostopano: september 2014].
- [13] Cisco Systems, Interconnecting Cisco Network Devices, Student Guide (2007) 185–186.
- [14] CableCable, Difference between twisted pair, coaxial cable and fiber optics, <http://www.cablecable.info/is-difference-between-twisted-pair-co-axial-cable-and-fiber-optics/>, [Dostopano: september 2014].
- [15] E-gradiva.net, Optični kabli, http://www.egradiva.net/drugo/omrezja/12_mediji/04_datoteka.html, [Dostopano: september 2014].
- [16] ProSoundWeb, Let There Be Light: How Fiber Optics Actually Works, <http://www.prosoundweb.com/images/uploads/FiberOpticsGraphic1.jpg>, [Dostopano: september 2014].
- [17] Inside the Box, 8 Advantages to choosing fiber over copper cable, <http://bboxblog.wordpress.com/2011/12/08/8-advantages-to-choosing-fiber-over-copper-cable/>, [Dostopano: september 2014].
- [18] LG, PCoIP Technology, <http://www.lg.com/us/commercial/display/pcoip>, [Dostopano: september 2014].
- [19] O3b Networks, What is Network Latency and Why Does It Matter?, http://www.o3bnetworks.com/media/40980/white%20paper_latency%20matters.pdf, [Dostopano: september 2014].

- [20] M. Mraz, M. Moškon, Modeliranje računalniških omrežij, Ljubljana: Založba FE in FRI, 2012.
- [21] The TCP/IP Guide, TCP/IP Overview and History, http://www.tcpipguide.com/free/t_TCPIPOverviewandHistory.htm, [Dostopano: september 2014].